



**Milieueffectenrapport (*Strategic Environmental Assessment – SEA*)
voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling
van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen
met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd
hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling
van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval**

Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen

NIROND-TR 2020-07 N April 2020

Goedkeuring versie 1.0

Handtekening

Opgesteld door:
Werkgroep NIRAS
onder leiding van Peter De Preter

Peter De
Preter
(Signature)

Digitally signed by
Peter De Preter
(Signature)
Date: 2020.04.08
09:17:57+02'00'

Controle:
Philippe Lalieux (NIRAS)



Philippe Lalieux
(Signature)
2020.04.08
09:50:17 +02'00'

Goedkeuring:
Marc Demarche (NIRAS)



Dit document is eigendom van NIRAS en is beschermd door het auteursrecht overeenkomstig de Belgische wet van 30 juni 1994. Het mag, geheel of gedeeltelijk, enkel worden gereproduceerd of doorgegeven, in welke vorm of met welk middel, elektronisch of mechanisch, dan ook, voor niet-commercieel gebruik en mits de bron duidelijk wordt vermeld. Elke reproductie en/of overdracht voor andere doeleinden vereist de voorafgaande schriftelijke toestemming van NIRAS. NIRAS kan in geen geval aansprakelijk worden gesteld voor verlies, schade of kosten die een derde heeft geleden of opgelopen en die het gevolg zouden zijn van het gebruik van het geheel of een deel van dit document en/of van de gegevens die het bevat.

Inlichtingen met betrekking tot dit document

Milieueffectenrapport (*Strategic Environmental Assessment – SEA*) voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval

Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen
Kunstlaan 14
1210 Brussel
BELGIE

<i>Reeks</i>	Categorieën B&C
<i>Documenttype</i>	NIROND-TR
<i>Status</i>	Openbaar
<i>Publicatiedatum</i>	April 2020
<i>NIRAS-rapportnummer</i>	NIROND-TR 2020-07 N
<i>Versienummer</i>	Versie 1.0
<i>Trefwoorden</i>	B&C-afval, langetermijnbeheer, geologische berging, nationale beleidsmaatregelen, ontwerpplan, plan, SEA, milieueffecten

Versies

Versienummer en datum	Belangrijkste opmerkingen en wijzigingen ten opzichte van de vorige versie
1.0 April 2020	

Dit document is ook beschikbaar in het Frans en het Duits onder de referenties NIROND-TR 2020-07 F en NIROND-TR 2020-07 D.

Het gaat vergezeld van een niet-technische samenvatting met de referentie NIROND-TR 2020-08 N, die ook beschikbaar is in het Frans en het Duits onder de referenties NIROND-TR 2020-08 F en NIROND-TR 2020-08 D.

Meer informatie: www.niras.be/sea2020

Uitgever: Marc Demarche, directeur-generaal, Kunstlaan 14, 1210 Brussel, België

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Context en historiek van het Ontwerpplan en het SEA	5
1.1 Wettelijk en reglementair kader voor het beheer van radioactief afval, in het bijzonder voor het beheer ervan op lange termijn	5
1.2 NIRAS en het beheersysteem voor radioactief afval	8
1.3 Voorstel tot nationale beleidsmaatregelen van juni 2018	10
1.4 Historiek van het voorstel van juni 2018	11
1.5 Noodzaak van een nieuwe SEA-procedure en opstelling van het SEA	12
1.6 Structuur van het SEA	12
2 Het Ontwerpplan	15
2.1 Een technisch en een niet-technisch deel	15
2.1.1 Een technische oplossing, waarvan de gevolgen voor het milieu moeten worden beoordeeld: 'een systeem van geologische berging op Belgisch grondgebied'	15
2.1.2 Een niet-technisch deel, zonder milieueffecten: de stapsgewijze goedkeuring van de nationale beleidsmaatregelen en het besluitvormingsproces	17
2.2 Omgeving waarin het Plan zal worden uitgevoerd	18
2.3 Indicatief tijdschema voor uitvoering	18
2.4 Inventaris van het betrokken afval	19
2.4.1 Classificatie van geconditioneerd radioactief afval voor het langetermijnbeheer	20
2.4.2 Referentie-inventaris	21
2.4.3 Mogelijke aanvullende inventaris	22
3 Geologische berging: algemene inleiding	23
3.1 Geologische berging in galerijen	24
3.2 Geologische berging in diepe boorgaten	29
3.2.1 Diepe boorgaten	29
3.2.2 Voordelen, nadelen en uitdagingen	32
3.3 Beknopte vergelijking van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten	33
3.4 Gastformaties	34
3.4.1 In het buitenland, in het algemeen	34
3.4.1.1 Evaporieten	35
3.4.1.2 Kristallijne gesteenten	35
3.4.1.3 Kleiformaties	35
3.4.2 In België	35
3.4.2.1 Evaporieten	36
3.4.2.2 Kristallijne gesteenten	36
3.4.2.3 Kleiformaties	36
3.5 Nationale beleidsmaatregelen van andere landen voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval	37

4	Alternatieven die geen redelijke vervangingsoplossingen zijn voor geologische berging	41
4.1	Opslagalternatieven	41
4.1.1	Langdurige opslag	42
4.1.2	Eeuwigdurende opslag	43
4.1.3	In berging omzetbare opslag	45
4.2	Geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën	45
4.3	Alternatieven die in strijd zijn met de regelgeving en/of onbeheersbare risico's inhouden	47
5	Link van het Plan met andere relevante plannen en programma's of relevante beleidsmaatregelen	51
6	Inhoud van het SEA	53
6.1	Overzicht van de screening- en <i>scoping</i> -procedures en resultaat	53
6.1.1	Screening	53
6.1.2	<i>Scoping</i>	55
6.1.2.1	Resultaten voor de periode vóór de sluiting	56
6.1.2.2	Resultaten voor de periode na de sluiting	56
6.2	Geen beoordelingen mogelijk van de grensoverschrijdende effecten	57
7	Referentiesituatie en verwachte evolutie als het Plan niet wordt uitgevoerd	59
7.1	Tijdelijke bovengrondse opslag	59
7.1.1	Tijdelijke opslag van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval	59
7.1.2	Tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof	61
7.2	Verwachte evolutie als het Plan niet wordt uitgevoerd	62
8	Gebruikte methode	65
8.1	Methodologische aanpak	65
8.1.1	Beheeropties en typeconcepten	65
8.1.2	Periode vóór de sluiting en periode na de sluiting	65
8.1.3	Inventarissen van radioactief afval	66
8.1.4	Onzekerheden met betrekking tot de periode na de sluiting en robuustheid	66
8.2	Geraadpleegde deskundigen	66
8.3	Moeilijkheden en beperkingen	66
9	Beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen	67
9.1	Typeconcepten	67
9.1.1	Bovengrondse installaties	68
9.1.2	Ondergrondse constructies	70
9.1.3	Fasering en sluiting	74
9.2	Scherpstellen van ideeën	75
9.2.1	Aannames en waarden van dimensioneringsparameters	75
9.2.2	Activiteiten die tijdens de verschillende fasen in beschouwing worden genomen	77

9.3	Milieueffectenbeoordeling voor de perioden vóór en na de sluiting	79
9.3.1	Bepalen van de uitvoeringsactiviteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben	79
9.3.2	Beoordeling van de effecten van de activiteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben en beoordeling van de natuurlijke evolutie van het systeem	85
9.4	Beoordeling van de milieueffecten bij een uitbreiding van de referentie-inventaris	89
9.5	Opvolg- of monitoringmaatregelen	90
9.6	Beoordeling van de milieueffecten van een multinationale geologische berging in galerijen	91
10	Beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in diepe boorgaten	93
11	Robuustheid en flexibiliteit van een geologische-bergingsplossing	95
11.1	Geologische berging in galerijen	95
11.1.1	Robuustheid	95
11.1.2	Flexibiliteit	96
11.2	Geologische berging in diepe boorgaten	97
12	Eindoverwegingen en aanbevelingen	99
Bijlage 1	Acroniemen	105
Bijlage 2	Referenties van de documenten die de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van andere landen vaststellen of er gewag van maken	107
Bijlage 3	Advies van het Adviescomité en wijze waarop het is behandeld	109
Referenties		113

Samenvatting

Ter uitvoering van haar wettelijke opdrachten stelde NIRAS — de openbare instelling met rechtspersoonlijkheid die belast is met het beheer van radioactief afval in België — in juni 2018 haar voogdij voor om de basis te leggen voor de toekomstige nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. Het voorstel, dat ze heeft gedaan in de vorm van een voorontwerp van koninklijk besluit, legt het proces voor de goedkeuring van deze beleidsmaatregelen vast en definieert de oplossing voor het langetermijnbeheer van dit afval als “*een geologische-bergingssysteem op Belgisch grondgebied*”. Deze oplossing vormt het *eerste deel* van de beleidsmaatregelen. Het voorstel bepaalt dat de beleidsmaatregelen nog andere delen zullen omvatten, die bij opeenvolgende koninklijke besluiten zullen worden vastgesteld, waaronder met name het besluitvormingsproces en de keuze van de site(s) waar de berging zal worden uitgevoerd.

Geologische berging is een duurzame oplossing voor de milieuproblematiek die het geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval vormt. Dit afval vormt immers een risico over een zeer lange periode en moet voor enkele honderdduizenden jaren, of zelfs een periode in de orde van een miljoen jaar, worden afgezonderd van mens en milieu. Het wordt momenteel veilig opgeslagen in speciale gebouwen, maar het behoud van de veiligheid tijdens de opslag berust permanent op menselijk handelen. De veiligheid van geologische-bergingssystemen steunt daarentegen op het vermogen van de talrijke, zowel kunstmatige als natuurlijke, barrières, om het radioactieve afval in te sluiten en voldoende en lang genoeg af te zonderen van de biosfeer *zonder dat er herhaaldelijk menselijk ingrijpen nodig is*. Dit is een reglementaire vereiste. Het is dit soort oplossing dat alle andere landen met een nationale beleidsmaatregel voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval hebben gekozen. Er bestaat overigens *geen redelijke vervangingsoplossing voor geologische berging*. In België is geologische berging al meer dan veertig jaar het voorwerp van onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratiewerkzaamheden, die herhaaldelijk zijn geëvalueerd door Belgische en buitenlandse experts. Volgens deze evaluaties kan België op deze weg voortgaan: er is voldoende vertrouwen dat de veiligheid van geologische berging kan worden aangetoond en dat ze met industriële technieken op Belgisch grondgebied kan worden uitgevoerd.

De nationale beleidsmaatregelen worden beschouwd als plannen of programma's in de zin van de *wet van 13 februari 2006 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's en de inspraak van het publiek bij de uitwerking van de plannen en programma's in verband met het milieu*. Het voorgestelde voorontwerp van koninklijk besluit vormt dus een ontwerpplan, waarvan NIRAS de auteur is en waarvan de milieueffecten moeten worden beoordeeld.

Deze milieueffectenbeoordeling is gedeeltelijk en in essentie beschrijvend van aard, vanwege het *conceptuele* en *generieke* karakter van het Plan. Het preciseert immers niet de te ontwikkelen en uit te voeren oplossing voor geologische berging: het geeft *noch het waar* (geologische gastformatie, bergingsdiepte en bergingssite), *noch het hoe* (bergingsconcept en uitvoeringstechnieken), *noch het wanneer* (begin van de exploitatie, in het beste geval binnen enkele tientallen jaren) aan. In deze eerste evaluatie wordt evenmin rekening gehouden met bepaalde soorten milieueffecten, hetzij omdat de beoordeling ervan in dit stadium irrelevant of onmogelijk is — zoals het effect op de lucht, het effect op de mens van geluidshinder en stof, het effect op de menselijke activiteiten of de wijziging van het landschap —, hetzij omdat het effect zelf irrelevant of verwaarloosbaar wordt geacht — zoals het effect op het klimaat. Deze evaluatie zal daarom moeten worden gevolgd door andere, meer specifieke en gedetailleerde evaluaties in latere stadia van de goedkeuring en uitvoering van de nationale beleidsmaatregelen. Op termijn zullen alle relevante milieueffecten van het Plan, dat uiteindelijk geconcretiseerd zal worden door een of meer projecten, in detail beoordeeld zijn.

Geologische berging kan de vorm aannemen van geologische berging in galerijen of geologische berging in diepe boorgaten.

- De beoordeling van de milieueffecten van *geologische berging in galerijen* steunde op typebergingsconcepten in de drie soorten gastformaties die het vaakst onderzocht worden in de wereld, namelijk evaporieten, kristallijne gesteenten en kleiformaties. Ze ging ervan uit dat het afval in één enkele installatie en op één enkele site werd geplaatst en dat alle uitvoeringsactiviteiten volgens plan verliepen. Ze bleef beperkt tot de gevolgen voor het oppervlakte- en grondwater, de bodem, de ondergrond, de menselijke gezondheid en de fauna en flora.

De activiteiten voor de uitvoering van geologische berging in galerijen, waarvan de kans het grootst lijkt dat ze aanzienlijke effecten zullen hebben, onder de effecten die onderzocht worden, zijn de voorbereiding van de bergingssite, waarvan de bodemvoetafdruk in de orde van grootte van een vierkante kilometer zou liggen, en de bouw van de bovengrondse installaties, alsook de opslag ter plaatse van de materialen die tijdens de bouw van de ondergrondse installatie uitgegraven worden. De belangrijkste effecten zouden betrekking hebben op het oppervlaktewater en de bodem, op de fauna en flora. Het is in dit stadium niet mogelijk om zich uit te spreken over het effect, op het oppervlaktewater of het grondwater, van het gebruik van water voor de exploitatie van een betoncentrale op de bergingssite, noch over het effect van waterinsijpeling in de ondergrondse installatie en haar toegangen op het grondwater.

De activiteiten die betrekking hebben op colli met radioactief afval, vóór de volledige sluiting van de bergingsinstallatie, hebben, onder de effecten die onderzocht moeten worden, geen significant milieueffect en de effecten ervan op de menselijke gezondheid in het bijzonder worden als verwaarloosbaar beschouwd. Dit zal moeten worden aangetoond in de veiligheidsdossiers, op basis van de geplande procedures voor de exploitatiefasen.

De natuurlijke evolutie van het bergingssysteem in galerijen na de volledige sluiting ervan zal, in de eerste duizenden jaren, leiden tot een tijdelijke stijging van de temperatuur van het grondwater en de ondergrond door de aanwezigheid van warmteafgevend hoogactief afval en, op langere termijn, tot een verandering van de gastformatie als gevolg van het langzaam en geleidelijk vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten uit de bergingsinstallatie. Elk bergingssysteem moet echter zodanig ontworpen worden dat, in alle omstandigheden, door de werking van de kunstmatige en natuurlijke barrières en door het radioactieve verval, elk significant effect van het vrijkomen van deze stoffen op de andere delen van de ondergrond, op het grondwater en, a fortiori, op de biosfeer vermeden wordt. De naleving van de regels en limieten die door het reglementaire kader voor stralingsbescherming en milieubescherming worden opgelegd, zal ervoor zorgen dat de effecten ervan zeer gering en in ieder geval te verwaarlozen zullen zijn in vergelijking met de gemiddelde blootstellingsniveaus, met name de blootstelling aan radioactieve straling, van de bevolking. Dit moet overtuigend worden aangetoond in het veiligheidsdossier dat bij de nucleaire vergunningsaanvraag voor de bouw van de bergingsinstallatie zal worden gevoegd.

- De beoordeling van de milieueffecten van *geologische berging in diepe boorgaten* bleef beperkt tot enkele algemene overwegingen, aangezien dit soort berging nooit bestudeerd werd in België en de heterogeniteit en het gebrek aan eensluidende informatie in de literatuur geen beoordeling mogelijk maken die enigszins onderbouwd is. Er kan hoogstens gesteld worden dat de milieueffecten van berging in diepe boorgaten van dezelfde aard zouden zijn als die van berging in galerijen, met verschillen in omvang afhankelijk van de effecten.

Aangezien het Plan de bescherming van mens en milieu nastreeft, moeten de milieueffecten ervan worden gezien als een onvermijdelijk effect van de uitvoering van het Plan, die tot een minimum moeten worden beperkt en zoveel mogelijk moeten worden afgezwakt. De uitvoering ervan zal afhankelijk zijn van de uitreiking van nucleaire en niet-nucleaire vergunningen die bevestigen dat aan de geldende normen is voldaan. Het niet uitvoeren van het Plan zal,

daarentegen, vroeg of laat negatieve gevolgen hebben: de huidige situatie van veilige bovengrondse tijdelijke opslag zal uiteindelijk omslaan in een onveilige situatie, omdat het onmogelijk is tot in het oneindige een veilig actief beheer te handhaven. Dit zal ernstige gevolgen hebben voor mens en milieu.

De resultaten van de milieueffectenbeoordeling van het Plan zijn niet van dien aard dat ze de voorgestelde beheeroplossing, en dus de goedkeuring van een *geologische-bergingssysteem op Belgisch grondgebied* als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijn-beheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, ter discussie stellen. NIRAS is ook van mening dat

- geologische berging op het Belgische grondgebied onverwijld op federaal niveau moet worden aangenomen als basis voor de nationale beleidsmaatregelen inzake langetermijn-beheer;
- het uitstellen van deze beslissing niet tot een betere beslissing zal leiden;
- geologische berging in diepe boorgaten een aanvullende beheeroptie zou kunnen zijn voor geologische berging in galerijen voor beperkte hoeveelheden afval waarvan men de terugnemering bijzonder moeilijk zou willen maken.

Tot slot vestigt NIRAS de aandacht op het feit dat een eventuele politieke beslissing ten gunste van een geologische-bergingsoplossing die met andere landen wordt gedeeld, België niet zou ontheffen van zijn verplichting om zijn nationale programma voor geologische berging voort te zetten en geen enkele garantie op een sneller resultaat zou bieden.

1 Context en historiek van het Ontwerpplan en het SEA

België produceerde in het verleden radioactief afval met zeer uiteenlopende kenmerken. Ook vandaag produceert ons land nog steeds radioactief afval. Dat afval is niet alleen afkomstig van de productie van elektriciteit uit kernenergie, waarmee in 1975 werd begonnen en die in 2025 afloopt [België 2003], maar ook van een breed scala aan nucleaire en/of radioactieve toepassingen, onder meer in de geneeskunde, in de industrie en voor onderzoek. *Zoals bij alle milieuproblemen die verband houden met afvalbeheer, moet dit afval op een veilige en verantwoorde manier worden beheerd.* Een klein deel van dit afval bestaat uit hoogactief en/of langlevend afval¹. Dit afval, dat ook de als afval aangegeven verbruikte splijtstof bevat, vormt gedurende zeer lange tijd een risico en moet voor honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar, worden afgezonderd van mens en milieu.

Dit hoofdstuk schetst de context van het door NIRAS aan haar voorgedij voorgelegde voorontwerp van koninklijk besluit (dat een 'Ontwerpplan' vormt — zie deel 1.3 voor het in perspectief plaatsen van een aantal belangrijke termen), dat de oplossing voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval bepaalt, en van dit strategische milieueffectenrapport (*Strategic Environmental Assessment of SEA*). Dit evaluatierapport werd opgesteld ter uitvoering van de wet van 13 februari 2006 *betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's en de inspraak van het publiek bij de uitwerking van de plannen en programma's in verband met het milieu* [België 2006] (deel 1.5)

Na een korte inleiding over NIRAS en haar kernactiviteit — het beheer van radioactief afval (deel 1.2) — en de belangrijkste principes en verplichtingen van het wettelijke en reglementaire kader (deel 1.2), introduceert dit hoofdstuk het Ontwerpplan: dit plan bestaat voornamelijk uit een voorstel tot nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, in de vorm van een voorontwerp van koninklijk besluit (deel 1.3). Dit regelgevende initiatief heeft tot doel de basis te leggen voor een proces dat België in staat moet stellen om te voldoen aan zijn verplichtingen inzake het langetermijnbeheer van dit afval. Het bouwt voort op een reeks initiatieven die werden genomen op basis van een eerste plan, dat in 2011 werd gepubliceerd (deel 1.4).

1.1 Wettelijk en reglementair kader voor het beheer van radioactief afval, in het bijzonder voor het beheer ervan op lange termijn

Het wettelijke en reglementaire kader voor het beheer van radioactief afval is internationaal, Europees en nationaal² (kader 1).

Het *internationale en Europese* kader legt de nadruk op de *nationale verantwoordelijkheid* van de Staten voor het beheer van hun radioactieve afval en bepaalt dat dit afval, behoudens bijzondere bepalingen, moet worden *geborgen in de lidstaat waar het is geproduceerd*. Het moet dus, per definitie, worden opgeborgen in een geschikte installatie, die 'bergingsinstallatie'

¹ Activiteit: vermoedelijk aantal spontane kernovergangen van een hoeveelheid van een radionuclide in een bepaalde energietoestand en op een gegeven tijdstip in een tijdsinterval, gemeten in becquerel (1 Bq = 1 overgang per seconde).

Levensduur: tijd waarin het aantal kernen van een bepaalde radionuclide, en dus de activiteit ervan, gehalveerd wordt. Na tien 'levensduren' is de activiteit gedeeld door 1 000. Elke radionuclide heeft haar eigen levensduur. 'Lange levensduren' zijn levensduren van meer dan 30 jaar.

² Het wettelijke en reglementaire kader bevat gelijkaardige bepalingen en principes voor het beheer van verbruikte splijtstof, maar die zijn niet in dit document opgenomen: het beheer van verbruikte splijtstof die niet als afval is aangegeven, valt niet binnen het toepassingsgebied van het Plan en verbruikte splijtstof die als afval wordt aangegeven, wordt in België opgenomen onder de noemer 'radioactief afval' (zie ook deel 2.4.2).

wordt genoemd, zonder dat het de *bedoeling* is het terug te nemen. Dit betekent echter niet dat het onmogelijk is het afval terug te nemen. De Europese richtlijn 2011/70/Euratom van 19 juli 2011 verplicht de lidstaten ook om *nationale beleidsmaatregelen* vast te stellen en in stand te houden voor het beheer van hun radioactieve afval. De veiligheid van het langetermijnbeheer moet *op passieve wijze* worden verzekerd, dat wil zeggen zonder dat herhaaldelijk menselijk ingrijpen noodzakelijk is.

Het *Belgische* wettelijke en reglementaire kader voor het beheer van radioactief afval bestaat voornamelijk uit artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980, zoals gewijzigd door de wet van 3 juni 2014 ter omzetting van de richtlijn 2011/70/Euratom in Belgisch recht, en haar uitvoeringsbesluiten. Artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 bepaalt in het bijzonder dat het aan NIRAS is om nationale beleidsmaatregelen voor het beheer van radioactief afval voor te stellen en dat *het op het Belgisch grondgebied geproduceerde radioactief afval er wordt geborgen*, tenzij er voldaan is aan bepaalde voorwaarden die het gebruik van een bergingsinstallatie in een ander land toestaan (artikel 179, § 7, tweede lid). Het koninklijk besluit van 20 juli 2001 voorziet in algemene bepalingen die de bescherming van de bevolking, de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen regelen.

Kader 1 – Het internationale en nationale kader voor het beheer van radioactief afval

Het beheer van radioactief afval is een nationale verantwoordelijkheid, binnen een internationaal kader. Het internationale kader, dat hoofdzakelijk bestaat uit het Gezamenlijk Verdrag en richtlijn 2011/70/Euratom, legt de bepalingen en principes vast die van toepassing zijn op het beheer van radioactief afval op nationaal niveau. Het nationale kader bestaat hoofdzakelijk uit artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 en haar uitvoeringsbesluiten, alsook uit het koninklijk besluit van 20 juli 2001. De belangrijkste relevante elementen van deze teksten voor het langetermijnbeheer van radioactief afval zijn:

Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval [IAEA 1997], dat in 1997 door België werd ondertekend en door de wet van 2 augustus 2002 werd bekrachtigd [België 2002]

Preambule

De Verdragsluitende Partijen

- vi) [bevestigen opnieuw] dat de uiteindelijke verantwoordelijkheid voor de veiligheid van het beheer van [...] radioactief afval berust bij de Staat;
- xi) [zijn] ervan overtuigd dat radioactief afval, voor zover dit verenigbaar is met de veiligheid van het beheer van dergelijk materiaal, definitief opgeborgen moet worden in de Staat waar het is ontstaan, en [erkennen] dat onder bepaalde omstandigheden een veilig en efficiënt beheer van [...] radioactief afval aangemoedigd zou kunnen worden door overeenkomsten tussen de Verdragsluitende Partijen om installaties op het grondgebied van een van hen te gebruiken ten bate van de andere Partijen, in het bijzonder wanneer afval uit gezamenlijke projecten ontstaat;

Artikel 1 – Doelstellingen

De doelstellingen van dit Verdrag zijn:

- i) Het bereiken en handhaven van een hoog niveau van veiligheid over de gehele wereld op het gebied van het beheer van [...] radioactief afval door middel van de verbetering van de nationale maatregelen en de internationale samenwerking, waaronder, indien van toepassing, technische samenwerking met betrekking tot veiligheid;
- ii) Het verzekeren dat tijdens alle stadia van het beheer van [...] radioactief afval doeltreffende bescherming bestaat tegen mogelijke risico's teneinde personen, de samenleving en het milieu te behoeden voor de schadelijke gevolgen van ioniserende straling, nu en in de toekomst, op zodanige wijze dat wordt voldaan aan de behoeften en aspiraties van de huidige generatie zonder dat de mogelijkheid van de komende generaties om aan hun behoeften en aspiraties te voldoen in gevaar wordt gebracht;
- iii) Het voorkomen van ongevallen waarbij radioactieve stoffen vrijkomen en het beperken van de gevolgen, mochten dergelijke ongevallen zich voordoen tijdens enig stadium van het beheer van [...] radioactief afval.

Artikel 2 — Begripsomschrijvingen

Voor de toepassing van dit Verdrag:

- f) Wordt onder 'opslag' verstaan het voorhanden hebben van [...] radioactief afval in een faciliteit die in de insluiting daarvan voorziet, met de bedoeling het terug te halen;
- u) Wordt onder 'eindberging' verstaan het plaatsen van [...] radioactief afval in een geschikte faciliteit zonder de bedoeling het terug te halen;

Artikel 11 — Algemene veiligheidseisen

Elke Verdragsluitende Partij neemt passende maatregelen om zeker te stellen dat in alle stadia van het beheer van radioactief afval personen, de samenleving en het milieu op adequate wijze beschermd zijn tegen gevaren van radioactiviteit en andere gevaren. Elke Verdragsluitende Partij neemt hierbij passende maatregelen:

- vi) om te trachten handelingen te vermijden waarvan de redelijkerwijs voorzienbare gevolgen voor de toekomstige generaties groter zijn dan de gevolgen die voor de huidige generatie zijn toegestaan;
- vii) om te trachten te vermijden dat de toekomstige generaties overmatig worden belast.

Richtlijn 2011/70/Euratom van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval [Europese Raad 2011]

Artikel 1 — Onderwerp

1. Bij deze richtlijn wordt een communautair kader vastgesteld om een verantwoord en veilig beheer van [...] radioactief afval te waarborgen, zodat wordt vermeden dat op toekomstige generaties een onnodige last wordt gelegd.
2. Deze richtlijn zorgt ervoor dat de lidstaten voorzien in passende nationale regelingen voor een hoog veiligheidsniveau inzake het beheer van [...] radioactief afval, teneinde werknemers en de bevolking te beschermen tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren.
3. Zij zorgt ervoor dat aan het publiek de nodige informatie wordt verstrekt en dat het publiek betrokken wordt bij het beheer van [...] radioactief afval, met inachtneming van de beveiliging en de eigendom van de informatie.

Artikel 2 — Toepassingsgebied

1. Deze richtlijn is van toepassing op alle stadia van: [...] b) het beheer van radioactief afval, van de productie tot de berging ervan, voor zover het radioactief afval voortkomt uit civiele activiteiten.

Artikel 3 — Definities

Voor de toepassing van deze richtlijn gelden de volgende definities:

3. 'berging': de plaatsing van [...] radioactief afval in een faciliteit zonder de bedoeling [...] dat afval terug te halen;
14. 'opslag': het onderbrengen van [...] radioactief afval in een faciliteit met de bedoeling [...] dat afval terug te halen.

Artikel 4 — Algemene beginselen

1. Er worden door de lidstaten nationale beleidsmaatregelen betreffende het beheer van [...] radioactief afval opgesteld en in stand gehouden. [...] dragen de lidstaten de uiteindelijke verantwoordelijkheid voor hun beheer [...] van het [daar] geproduceerde radioactief afval.
3. Het nationale beleid wordt gebaseerd op de volgende uitgangspunten: [...] c) [...] radioactief afval [wordt] op een veilige manier beheerd, voor de lange termijn onder meer met passieve veiligheidsmaatregelen;
4. Radioactief afval wordt geborgen in de lidstaat waar het is geproduceerd, tenzij op het moment van overbrenging, rekening houdend met de door de Commissie [...] opstelde criteria, tussen de betrokken lidstaat en een andere lidstaat of een derde land een overeenkomst van kracht is op grond waarvan een bergingsfaciliteit in één van hen zal worden gebruikt.

Artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980 [België 1980], zoals meer bepaald gewijzigd door de wet van 3 juni 2014 die de richtlijn 2011/70/Euratom omzet in het Belgische recht [België 2014]

Artikel 179, § 5

In de zin van dit artikel, dient te worden verstaan onder:

- 3° Berging: de plaatsing van [...] radioactief afval in een installatie zonder de bedoeling [...] dat afval terug te halen, maar zonder afbreuk te doen aan de mogelijkheid om, in voorkomend geval, over te gaan tot recuperatie van afval, in overeenstemming met de modaliteiten gedefinieerd in de Nationale Beleidsmaatregelen [...];
- 14° Opslag: het onderbrengen van [...] radioactief afval in een installatie met de bedoeling [...] dat afval terug te halen.

Artikel 179, § 6

De Koning stelt bij besluit vastgelegd na overleg in de Ministerraad, op voorstel van [NIRAS] en na advies van [het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle], Nationale Beleidsmaatregelen vast en houdt deze in stand met betrekking tot het beheer van radioactief afval [...], in functie van de fysische, chemische en radiologische eigenschappen van het afval [...], gebaseerd ten minste op de volgende algemene uitgangspunten: [...] 3° [...] radioactief afval [wordt] op een veilige manier beheerd, waarbij de veiligheid op lange termijn van een bergingsinstallatie onder meer op veiligheidsmaatregelen berust die op lange termijn passief moeten kunnen worden;

De [...] Nationale Beleidsmaatregelen worden beschouwd als plannen of programma's in de zin van de wet van 13 februari 2006 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's en de inspraak van het publiek bij de uitwerking van de plannen en programma's in verband met het milieu.

De Nationale Beleidsmaatregelen met betrekking tot het beheer van radioactief afval [...] omvatten modaliteiten van omkeerbaarheid, terugneembaarheid en monitoring voor een te bepalen periode als elementen voor het ontwerp en de exploitatie van elke bergingsinstallatie. Deze modaliteiten worden opgesteld rekening houdend met de noodzaak de veiligheid van de bergingsinstallatie te verzekeren.

Artikel 179, § 7

Het op het Belgisch grondgebied geproduceerde radioactief afval wordt er geborgen, tenzij op het moment van overbrenging, rekening houdend met de door de Europese Commissie [...] opgestelde criteria [...] tussen de Staat en een ander land een overeenkomst van kracht is om een bergingsinstallatie in dat land te gebruiken.

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 straling [België 2001]

Het koninklijk besluit bevat met name de volgende bepalingen:

- stelt het vergunningsstelsel van de inrichtingen (klasse I) voor de verwerking, conditionering en opslag van radioactief afval en de algemene bepalingen van het vergunningsstelsel van bergingsinstallaties vast (hoofdstuk II, afdeling II, artikel 6);
- legt de basishoudnormen voor de bescherming tegen de blootstelling aan ioniserende straling vast (hoofdstuk III, afdeling I);
- bevat verschillende bepalingen in verband met radioactief afval (hoofdstuk III, afdeling IV).

Andere bepalingen

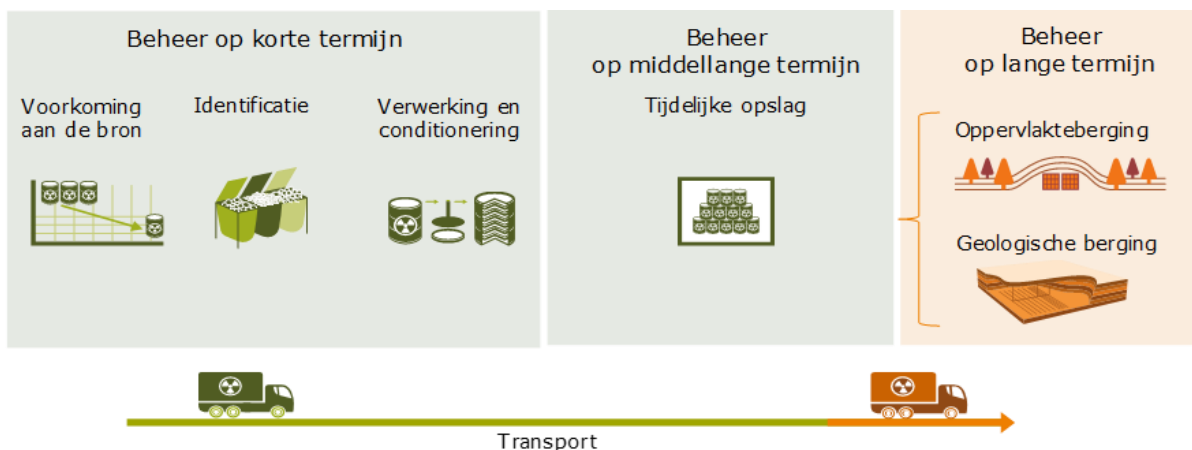
Tal van andere bepalingen zijn van toepassing op de verschillende aspecten van het beheer van radioactief afval in de vorm van internationale verdragen, Europese richtlijnen of nationale en gewestelijke wettelijke en reglementaire bepalingen:

- bepalingen over de bescherming van mens en milieu tegen de risico's van ioniserende straling (stralingsbescherming), ook in een grensoverschrijdende context;
- bepalingen over de bescherming van het milieu, ook in een grensoverschrijdende context, zowel op het niveau van plannen en programma's als op projectniveau;
- bepalingen over de toegang van het publiek tot milieu-informatie en de mogelijkheid tot effectieve inspraak van het publiek in het besluitvormingsproces met betrekking tot het beheer van radioactief afval.

1.2 NIRAS en het beheersysteem voor radioactief afval

NIRAS is de openbare instelling die belast is met het beheer van radioactief afval in België. Haar opdrachten en werkingsmodaliteiten zijn vastgelegd door artikel 179, § 2, van de wet van 8 augustus 1980 en door het koninklijk besluit van 30 maart 1981 [België 1980, 1981]. Ze staat onder de voogdij van de ministers die bevoegd zijn voor Energie en Economie.

Sinds het begin van de jaren tachtig heeft NIRAS geleidelijk een coherent beheersysteem voor radioactief afval ontwikkeld en ten uitvoer gelegd, om mens en milieu te beschermen tegen de risico's van dat afval, zonder daarbij onredelijke lasten door te schuiven naar de toekomstige generaties. Dat systeem bestaat uit een opeenvolging van technische stappen vanaf de productie van het afval tot de berging ervan, die kunnen worden gegroepeerd in beheeractiviteiten op korte, middellange en lange termijn (figuur 1). De beheeractiviteiten op korte en middellange termijn worden uitgevoerd in het kader van een nationaal beleid voor gecentraliseerd beheer in Mol en Dessel, op de sites van NIRAS die door haar industriële dochteronderneming Belgoprocess worden geëxploiteerd.



Figuur 1 – De belangrijkste stappen in het beheersysteem voor radioactief afval.

Het *kortetermijnbeheer* van niet-geconditioneerd radioactief afval omvat voornamelijk de voorkoming aan de bron, de ophaling van het afval bij de producenten, en de verwerking en conditionering van het afval. De verwerking bestaat erin de radioactiviteit zoveel mogelijk te concentreren om het volume van de stoffen die als radioactief afval moeten worden beschouwd te reduceren en deze stoffen in een geschikte fysische en chemische toestand te brengen om ze te conditioneren. Het verwerkte afval wordt geconditioneerd door het te immobiliseren in een matrix, bijvoorbeeld glas of cement, om een vast en compact, chemisch stabiel en niet-verspreidbaar materiaal te verkrijgen, waarin de radioactieve stoffen ingesloten zijn. Geconditioneerd afval zit meestal in een cilindervormige metalen verpakking.

Het *middellangetermijnbeheer* omvat de tijdelijke bovengrondse opslag van de colli met geconditioneerd afval, in afwachting van een veilige operationele bergingsoplossing die het afval een eindbestemming geeft, alsook de opvolging in de tijd van de opgeslagen colli. Bovengrondse opslag zorgt er met name voor dat het afval dat veel warmte afgeeft, afkoelt voordat het geborgen wordt. De opslaggebouwen zijn ontworpen in overeenstemming met de radiologische kenmerken van het afval dat ze moeten herbergen en hebben een maximale levensduur van een honderdtal jaren. Dat is de huidige referentiesituatie van beheer (hoofdstuk 7). Die tijdelijke opslag is, zowel conceptueel als wettelijk, een voorlopige beheeroplossing (zie definities van kader 1 in deel 1.1).

De activiteiten in verband met het *langetermijnbeheer* van geconditioneerd afval bevinden zich in uiteenlopende stadia van vooruitgang. Zo heeft de regering, voor de belangrijkste afvalcategorieën (deel 2.4.1),

- beslist dat geconditioneerd laag- en middelactief kortlevend afval, in België ook wel afval van categorie A genoemd, aan de oppervlakte zal worden geborgen op het grondgebied van de gemeente Dessel; de zogenaamde nucleaire 'oprichtings- en exploitatievergunning', die in 2013 werd aangevraagd, zou naar verwachting in 2022 worden uitgereikt bij koninklijk besluit (zie hieronder);
- nog niet de basis gelegd voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, in België ook wel afval van de categorieën B en C genoemd; het gaat dus om onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieactiviteiten.

De activiteiten in verband met het beheer van radioactief afval zijn, net als alle andere nucleaire activiteiten, onderworpen aan de bepalingen van het wettelijke en reglementaire kader voor stralingsbescherming, dat voornamelijk gevormd wordt door het koninklijk besluit van 20 juli 2001, algemeen bekend als het *algemeen reglement op stralingsbescherming* [België 2001] (zie kader 1 in deel 1.1). Ze zijn onderworpen aan het controle- en vergunningsstelsel van dit

koninklijk besluit. Zo moet de 'nucleaire oprichtings- en exploitatievergunning' voor een bergingsinstallatie worden aangevraagd bij het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC), de openbare instelling die belast is met de bescherming van de bevolking, de werknemers en het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren, op basis van een zogenaamd 'veiligheidsdossier'. Ze wordt bij koninklijk besluit uitgereikt op voorstel van het FANC aan zijn voogdijoverheid, de minister van Binnenlandse Zaken. Voor de bouw van een bergingsinstallatie is eveneens een omgevingsvergunning vereist.

1.3 Voorstel tot nationale beleidsmaatregelen van juni 2018

Aangezien België nog geen nationale beleidsmaatregelen heeft vastgelegd voor het langetermijnbeheer van zijn geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval, zoals vermeld in het nationale programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval [FOD Economie 2016b] (hoofdstuk 5), heeft NIRAS, ter uitvoering van de bepaling van artikel 179, § 6, eerste lid, van de wet van 8 augustus 1980 (zie kader 1 in deel 1.1), in juni 2018 aan haar voogdij de basis voorgesteld voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van dit afval [NIRAS 2018a].

Het voorstel van NIRAS, dat de vorm aanneemt van een voorontwerp van koninklijk besluit, definieert de oplossing voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval als "*een systeem van geologische berging op het Belgische grondgebied*".

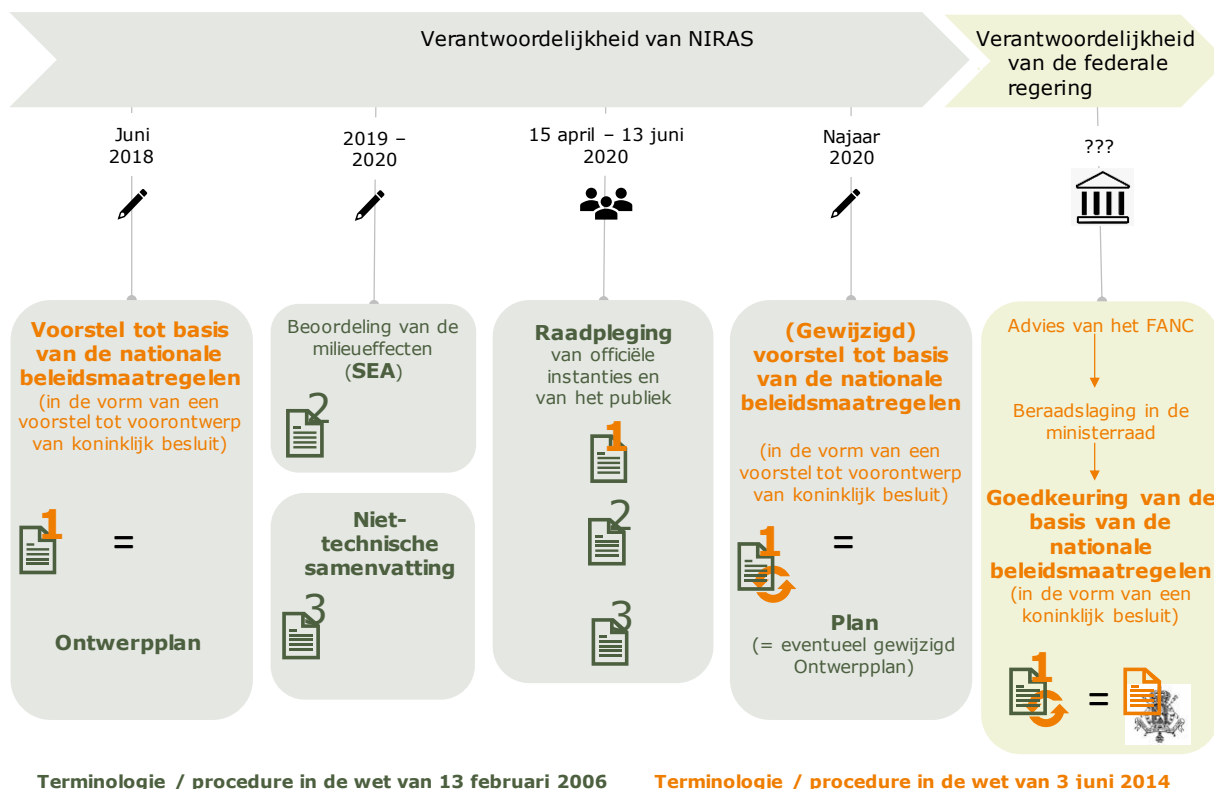
Aangezien de nationale beleidsmaatregelen, zoals bedoeld in het hierboven aangehaalde artikel, worden beschouwd als plannen of programma's in de zin van de wet van 13 februari 2006 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's, is het voorgelegde voorontwerp van koninklijk besluit dus een Ontwerpplan (zie hoofdstuk 2 voor een meer gedetailleerde presentatie van het Ontwerpplan), waarvan NIRAS de opsteller is (figuur 2). Dit SEA volgt de logica van de wet van 13 februari 2006: de term 'ontwerpplan' verwijst enkel naar het voorstel dat ter advies wordt voorgelegd aan de officiële instanties en de publieksraadpleging die in diezelfde wet is bepaald.

Het voorgelegde Ontwerpplan heeft tot doel de *basis* te leggen voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval op *conceptueel* en *generiek* vlak. *Geen enkel* aspect van de te ontwikkelen en uit te voeren geologische-bergingsoplossing wordt, met andere woorden, nader bepaald:

- het *hoe?*, dat wil zeggen het bergingsconcept en de uitvoeringstechnieken;
- het *waar?*, dat wil zeggen de geologische gastformatie, de bergingsdiepte en de bergingssite³;
- en het *wanneer?*;

en het is van toepassing op elke bergingsoplossing die in de toekomst wordt ontwikkeld. Het legt bovendien het proces vast voor de *stapsgewijze* goedkeuring van de beleidsmaatregelen en preciseert de algemene kenmerken van het besluitvormingsproces dat nog moet worden vastgesteld (deel 2.1.2).

³ Volgens het Ontwerpplan zou de geologische-bergingsoplossing door middel van een of meer bergingsinstallaties, op verschillende locaties, kunnen worden uitgevoerd (deel 2.1.2). In dat geval is het niet uitgesloten dat er voor verschillende gastformaties en verschillende dieptes wordt gekozen en dat er dus verschillende projecten worden ontwikkeld. Duidelijkheidshalve worden deze begrippen in de tekst echter in het enkelvoud gebruikt.



Figuur 2 – Vereenvoudigde weergave van de koppeling tussen de wet van 13 februari 2006 en die van 3 juni 2014 en verbanden tussen de belangrijkste begrippen die in dit SEA worden gebruikt, rekening houdend met het feit dat het ingediende voorstel geen voorstel tot nationale beleidsmaatregelen is, maar een voorstel tot *basis* of *eerste deel* van nationale beleidsmaatregelen. Net als de wet van 2006 gebruikt het SEA standaard de naam 'plan'. Het verwijst naar het 'ontwerpplan' voor het document dat ter advies aan de officiële instanties en ter raadpleging aan het publiek wordt voorgelegd. Het gebruikt de begrippen 'voorstel tot basis van nationale beleidsmaatregelen' en 'voorontwerp van koninklijk besluit' enkel wanneer de context dat vereist.

1.4 Historiek van het voorstel van juni 2018

Het voorstel van juni 2018 is het resultaat van een lang proces waarbij verschillende voorgedijoverheden betrokken waren sinds het eerste formele voorstel van NIRAS voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. Dit eerste voorstel — een voorstel van principebeslissing dat in 2011 aan de regering is gedaan — werd niet aangenomen. Het kwam tot stand op basis van de conclusies van het Afvalplan voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval van NIRAS [NIRAS 2011a] (hierna 'Plan 2011') en het bijbehorende milieueffectenrapport [Resource Analysis 2010] (hierna 'SEA 2010'), conform de wet van 13 februari 2006. Deze twee teksten werden tussen juni en september 2010 voor de bij de voornoemde wet voorgeschreven raadpleging voorgelegd aan officiële instanties en het publiek en de procedure werd afgesloten met de goedkeuring van het Plan 2011 door de raad van bestuur van NIRAS in september 2011 en de bekendmaking van de bij de wet van 2006 voorgeschreven verklaring en van de samenvatting van het Plan 2011 in het Belgisch Staatsblad op 30 september 2011 [NIRAS 2011b, 2011c].

Het voorstel van september 2011 was specifiekier dan het voorstel van juni 2018 in die zin dat het soort gastformatie voor geologische berging vastlegde: het beval immers een principebeslissing aan voor de *"geologische berging in weinig verharde klei in één enkele installatie op Belgisch grondgebied"*. Dit voorstel was het resultaat van een grondige vergelijking van mogelijke beheeroplossingen, niet alleen op basis van hun milieueffecten, maar ook vanuit

een technisch en wetenschappelijk, ethisch en maatschappelijk, economisch en financieel standpunt. Het was gebaseerd op de resultaten van dertig jaar onderzoek, ontwikkeling en demonstratie in België op het gebied van geologische berging en lag in het verlengde van de nationale beleidsmaatregelen in het buitenland. Hoewel het FANC bevestigde dat geen enkel argument het vermogen van de Boomse Klei — weinig verharde klei — om radioactieve stoffen in te sluiten in twijfel trekt, achtte het de keuze van een gastformatie voor geologische berging voorbarig [FANC 2010]. De voorgedij van NIRAS sloot zich in 2016 aan bij dat advies [Peeters & Marghem 2016].

1.5 Noodzaak van een nieuwe SEA-procedure en opstelling van het SEA

Als opsteller van het voorstel tot nationale beleidsmaatregelen van juni 2018, en conform de wet van 8 augustus 1980 en de wet van 13 februari 2006, onderwerpt NIRAS haar voorstel aan de SEA-procedure, met andere woorden in het bijzonder aan een beoordeling van de milieueffecten en aan een publieksraadpleging [Marghem & Peeters 2018]. Het SEA is opgesteld op de referentiedatum van 31 december 2018.

Met name omdat de geografische afbakening en de geologische omgeving van het Plan nog niet bekend zijn, is de beoordeling van de milieueffecten ervan verkennend en hoofdzakelijk beschrijvend (zie ook deel 2.1.1). Dit SEA identificeert en beschrijft de effecten waarvan de beoordeling nuttig en relevant is in het stadium van de goedkeuring van het eerste deel van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. In latere stadia van de bepaling van deze beleidsmaatregelen en de voorbereiding van de uitvoering ervan zullen meer gedetailleerde effectenbeoordelingen nodig zijn.

Het SEA steunt op een zeer selectieve keuze van bibliografische referenties. Er bestaan immers heel veel bibliografische bronnen met betrekking tot het langetermijnbeheer van radioactief afval in het algemeen en de geologische berging in het bijzonder: ze zijn het resultaat van vijf decennia van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie, zowel in het buitenland als in België. NIRAS kent daarentegen geen buitenlandse voorbeelden van milieueffectenbeoordelingen van de geologische-bergingsoplossing als *concept*. De bestaande voorbeelden hebben betrekking op meer uitgewerkte plannen en op projecten.

1.6 Structuur van het SEA

Het SEA is als volgt opgebouwd:

- een presentatie van de technische en niet-technische onderdelen van het Ontwerpplan, overwegingen met betrekking tot de omgeving waarin het zal worden uitgevoerd, een indicatief tijdschema voor de uitvoering van het Plan en de inventaris van het betrokken afval (hoofdstuk 2);
- een algemene presentatie van de geologische-bergingsoplossing, inclusief een korte presentatie van de potentiële geologische gastformaties en een overzicht van de nationale beleidsmaatregelen van andere landen (hoofdstuk 3);
- de overwogen oplossingen die geen redelijke alternatieven voor geologische berging vormen (hoofdstuk 4);
- de verbanden tussen het Plan en andere relevante plannen en programma's of relevante toepasselijke beleidsmaatregelen (hoofdstuk 5);
- een overzicht van de inhoud van het SEA, zoals die voortvloeit uit de toepassing van de screening- en *scoping*-procedures die door de Federale Overheidsdienst (FOD) Volksgezondheid zijn vastgesteld (hoofdstuk 6);

- een beschrijving van de referentiesituatie — tijdelijke bovengrondse opslag — en de verwachte evolutie ervan als het Plan niet wordt uitgevoerd (hoofdstuk 7);
- een korte presentatie van de aanpak die is gebruikt voor de verkennende en beschrijvende milieueffectenbeoordeling van het Plan (hoofdstuk 8);
- de beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen (hoofdstuk 9);
- enkele preliminaire overwegingen met betrekking tot de beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in diepe boorgaten (hoofdstuk 10);
- algemene overwegingen met betrekking tot de robuustheid en de flexibiliteit (hoofdstuk 11);
- eindoverwegingen en aanbevelingen, die niet alleen gebaseerd zijn op de resultaten van de milieueffectenbeoordelingen, maar ook op andersoortige beschouwingen, zoals ethische, maatschappelijke en financiële overwegingen (hoofdstuk 12).

Het SEA behandelt dus alle in bijlage II bij de wet van 13 februari 2006 genoemde thema's. Tot slot wordt ook een niet-technische samenvatting meegeleverd.

Het SEA bevat als bijlage ook een lijst met acroniemen, referenties van documenten die nationale beleidsmaatregelen van andere landen voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevend afval vaststellen of er gewag van maken, alsook het advies van het Adviescomité SEA over het ontwerpregister en de manier waarop er rekening mee is gehouden.

2 Het Ontwerpplan

Het Ontwerpplan, dat een technisch en een niet-technisch deel bevat, is zeer bondig. Na een beschrijving van deze delen en een precisering dat het Ontwerpplan de eerste stap is in het bepalen van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval (deel 2.1), wordt opgemerkt dat de omgeving waarin het Plan zal worden uitgevoerd, onbekend is (deel 2.2) en wordt in dit hoofdstuk een indicatief tijdschema voor de uitvoering ervan aangegeven (deel 2.3). Dit hoofdstuk eindigt met de inventaris van het afval waarop het Ontwerpplan betrekking heeft (deel 2.4).

2.1 Een technisch en een niet-technisch deel

Het Ontwerpplan bepaalt hoofdzakelijk, aan de ene kant, het soort technische oplossing dat moet worden ontwikkeld voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, die de basis vormt van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van dat afval (deel 2.1.1), en, aan de andere kant, het stapsgewijze goedkeuringsproces van de beleidsmaatregelen en de kenmerken van het vast te stellen besluitvormingsproces (deel 2.1.2). Het Ontwerpplan specificeert noch het bergingsconcept en de uitvoeringstechnieken (het hoe?), noch de geologische gastformatie, de bergingsdiepte en de bergingssite (het waar?), noch het tijdstip waarop de exploitatie zal beginnen (het wanneer?).

Het Ontwerpplan slaat op *"vast geconditioneerd hoogradioactief afval en [...] vast geconditioneerd langlevend laag- en middelactief afval, met inbegrip van verbruikte splijtstoffen die als afval worden aangemerkt, afval dat afkomstig is van de opwerking van verbruikte splijtstoffen, overtollige splijtstoffen die als afval worden aangemerkt en al het andere radioactieve afval waarvan de kenmerken in overeenstemming zijn met de geologische berging"* (zie deel 2.4 voor de inventaris).

2.1.1 Een technische oplossing, waarvan de gevolgen voor het milieu moeten worden beoordeeld: 'een systeem van geologische berging op Belgisch grondgebied'

Het Ontwerpplan definieert de oplossing voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval als *"een systeem van geologische berging op het Belgische grondgebied"* [NIRAS 2018a]. Het stippelt zo de richting uit die gevolgd moet worden om de milieuproblemen die dit afval op lange termijn vormt, te beheren. Het Ontwerpplan definieert

- *'geologische berging'* als *"de plaatsing van radioactief afval in een bergingsinstallatie zoals gedefinieerd in artikel 179, § 5, van de wet van 8 augustus 1980, gelegen op een passende diepte in een geologische formatie teneinde de bevolking en het leefmilieu te beschermen tegen de radiologische risico's die dit afval inhoudt"*;
- *'systeem van geologische berging'* als *"geheel gevormd door het radioactieve afval, de kunstmatige barrières — die beide de bergingsinstallatie vormen, zoals gedefinieerd in artikel 179, § 5, van de wet van 8 augustus 1980 — en de hiermee verbonden natuurlijke barrières, met name de geologische gastformatie en haar geologische omgeving"*.

Het begrip 'geologische berging' omvat twee opties (zie hoofdstuk 3 voor meer details):

- *de geologische berging in galerijen*, dit is de aanvoer en plaatsing van afval in de galerijen van een speciaal daarvoor ontworpen en ingerichte installatie op een passende diepte in een gastformatie;

- de *geologische berging in diepe boorgaten*, dit is de plaatsing van afval vanaf de oppervlakte in boorgaten die in de gastformatie zijn gemaakt, op een diepte die mogelijk veel groter is dan bij geologische berging in galerijen.

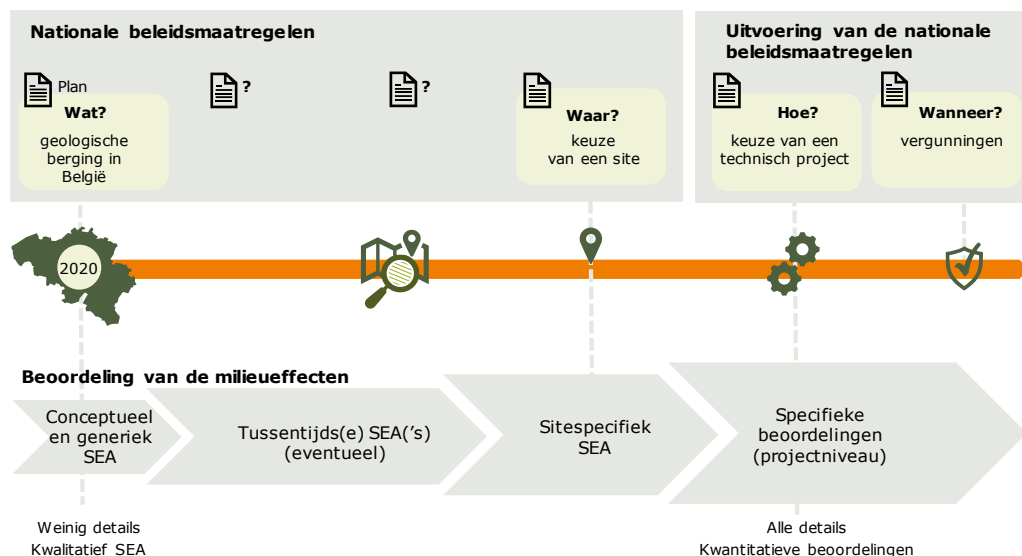
De gevaarlijkheid van het afval, bepaald door de activiteit en de levensduur ervan, geeft een indicatie van de minimale bergingsdiepte. Een bergingssysteem moet het afval immers *voldoende en voldoende duurzaam* insluiten en afzonderen van de biosfeer. Zo moet geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval geborgen worden in stabiele geologische formaties op enkele tientallen tot honderden meters diepte en wordt geconditioneerd hoogactief afval doorgaans op enkele honderden meters diepte of meer geborgen [IAEA 2009]. Deze twee afvalcategorieën (deel 2.4.1) kunnen worden beheerd in het kader van een gemeenschappelijke bergingsoplossing, op enkele honderden meters diepte (met inachtneming van hun specifieke kenmerken), of kunnen worden beheerd in afzonderlijke installaties, op dieptes die dan waarschijnlijk verschillend zullen zijn.

Aangezien het Plan *conceptueel* en *generiek* is, bevat het geen enkele aanwijzing met betrekking tot één of meer mogelijke zones voor de uitvoering van de bergingsoplossing, zoals een vermelding van mogelijk geschikte soorten geologische gastformaties, in tegenstelling tot het voorstel van 2011. Dit is een bewuste keuze, die voldoet aan een recente vraag van de voogdij van NIRAS [Peeters & Marghem 2016] en die rekening houdt met het standpunt van het FANC volgens welk de keuze van een gastformatie voor de geologische berging voorbarig is [FANC 2010, 2014, 2015].

Rekening houdend met het feit dat het Plan deel uitmaakt van een hiërarchisch opgebouwd geheel — de keuze van de geologische gastformatie, de locatie voor uitvoering en een welomschreven technisch project enz. zullen in latere documenten worden voorgesteld — worden de milieueffecten van het technische deel van het Plan op een *strategische*, heel algemene manier beoordeeld. De beoordelings-scope is immers uitermate breed of weinig nauwkeurig, over de hele lijn, zowel ruimtelijk (bovengrondse en ondergrondse omgeving), in de tijd als technisch (voortdurend evoluerend). Een dergelijke aanpak is toegestaan op grond van artikel 11 van de wet van 13 februari 2006, dat het volgende bepaalt: "*Wanneer het plan of programma deel uitmaakt van een hiërarchisch geheel mag, met het oog op het vermijden van een herhaling van de milieueffectenbeoordeling, in het milieueffectenrapport rekening worden gehouden met het feit dat de effectenbeoordeling op een ander niveau van het hiërarchisch geheel zal worden uitgevoerd.*" Volgens bijlage II bij dezelfde wet moet het milieueffectenrapport het volgende bevatten: "*de gegevens die redelijkerwijs kunnen geëist worden, rekening houdend met de huidige kennis en evaluatiemethoden, met de inhoud en precisiegraad van het plan of programma, met het stadium dat bereikt is in de besluitvormings-procedure en met het feit dat sommige aspecten misschien beter in andere fasen van die procedure worden geëvalueerd om herhaling van de beoordeling te vermijden*".

Telkens als het wettelijke en reglementaire kader het vereist, zullen meer specifieke en gedetailleerde milieueffectenbeoordelingen worden uitgevoerd, in het bijzonder bij de keuze van de site waarop de oplossing zal worden uitgevoerd en bij de vergunningsaanvragen voor het technische project waarvan uiteindelijk de uitvoering zal worden voorgesteld. Na verloop van tijd zullen alle relevante milieueffecten van het Plan, zoals dat concreet vorm krijgt in een project, uitvoerig beoordeeld zijn (figuur 3).

Aangezien het Plan voor het langetermijnbeheer van bestaand en gepland geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval een specifieke doelstelling heeft, namelijk de bescherming van mens en milieu, en de praktische uitvoering ervan afhankelijk zal zijn van de afgifte van nucleaire en niet-nucleaire vergunningen die bevestigen dat voldaan wordt aan de geldende normen, moeten de milieueffecten ervan als een onvermijdelijke consequentie worden beschouwd. Ze moeten worden vergeleken met de verwachte evolutie als het Plan niet wordt uitgevoerd (deel 7.2). Ze moeten natuurlijk zoveel mogelijk tot een minimum worden beperkt en verzacht.



Figuur 3 – Stapsgewijze aanpak van de milieueffectenbeoordeling voor de geologische-bergingsoplossing (zie ook deel 2.1.2).

2.1.2 Een niet-technisch deel, zonder milieueffecten: de stapsgewijze goedkeuring van de nationale beleidsmaatregelen en het besluitvormingsproces

Het Ontwerpplan bevat een niet-technisch deel, zonder milieueffecten, waarin de modaliteiten voor de goedkeuring en instandhouding van de nationale beleidsmaatregelen zijn vastgelegd en waarin bepalingen zijn opgenomen over het vast te stellen besluitvormingsproces, waarbinnen de langetermijnbeheeroplossing zich zal ontwikkelen.

Het niet-technische deel van het Ontwerpplan voorziet in een *stapsgewijze goedkeuring* van de beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval (figuur 3) *door middel van opeenvolgende koninklijke besluiten*. De beleidsmaatregelen zullen ten minste twee andere delen omvatten: "de bepaling van het besluitvormingsproces dat gepaard zal gaan met de ontwikkeling van de oplossing voor het langetermijnbeheer, met inbegrip van de belangrijkste stappen die er deel zullen van uitmaken en van de taken en verantwoordelijkheden die ermee verband houden" en, te gelegener tijd, "de vastlegging van de keuze van de locatie of van de locaties waar de oplossing voor het langetermijnbeheer wordt gerealiseerd". Ter uitvoering van de wet van 8 augustus 1980 moeten de nationale beleidsmaatregelen ook modaliteiten bevatten met betrekking tot de omkeerbaarheid van het besluitvormingsproces, de terugnemering van het afval en de monitoring van het bergingssysteem gedurende een nader te bepalen periode.

Het vast te stellen besluitvormingsproces, dat de volgende stap is in de goedkeuring van de nationale beleidsmaatregelen, moet volgens het Ontwerpplan de volgende kenmerken bezitten:

- "a) een stapsgewijze en gedocumenteerde ontwikkeling, onderbouwd met bewijskrachtige gegevens en met formele goedkeuring van de verschillende stappen;
- b) het beredeneerd in overweging nemen van de verschillende aspecten van het beheer van het radioactieve afval [...], met name niet alleen de veiligheidsaspecten, maar ook de wetenschappelijke en technische aspecten, de maatschappelijke en ethische aspecten, de milieuaspecten, de economische en financiële aspecten, evenals de wettelijke en reglementaire aspecten, met dien verstaande dat de overwegingen inzake veiligheid voorrang hebben; gezamenlijk bepalen deze aspecten de haalbaarheid van de oplossing en vormen zij de voorwaarden voor de geleidelijke realisatie en optimalisering ervan;

- c) *een aanpasbaar karakter, teneinde rekening te kunnen houden met de internationale ontwikkelingen en de wetenschappelijke en technische vooruitgang, met name inzake berging in diepe boorgaten en inzake geavanceerde nucleaire technologieën, met de resultaten van de veiligheidsbeoordelingen en van de beoordelingen van de gevolgen voor het leefmilieu, met de noodzaak inzake kostenbeheersing evenals met de maatschappelijke, wettelijke en reglementaire ontwikkelingen;*
- d) *een participatief, eerlijk en transparant karakter, teneinde het maatschappelijke draagvlak te creëren en in stand te houden dat vereist is voor de ontwikkeling van de oplossing voor het langetermijnbeheer met een of meer geïnformeerde en toestemmende lokale collectiviteiten en, op termijn, voor de integratie van een project van geologische berging op de verschillende niveaus, in het bijzonder in een lokale collectiviteit;*
- e) *het beschouwen van het systeem van geologische berging in zijn globaliteit;*
- f) *[...] het bevatten van de modaliteiten van opvolging van de nationale beleidsmaatregelen, onder meer met betrekking tot het statuut, de samenstelling, de opdrachten en de bevoegdheden van het multidisciplinaire orgaan bedoeld in artikel 179, § 6, vijfde lid van de wet van 8 augustus 1980."*

2.2 Omgeving waarin het Plan zal worden uitgevoerd

De omgeving — zowel bovengronds als ondergronds — waarin het Plan zal worden uitgevoerd, is niet gekend, vermits nog niet geweten is op welke locatie het Plan zal worden uitgevoerd. De bovengrondse omgeving bestrijkt mogelijk het volledige nationale grondgebied. In de praktijk zal voor geologische berging in galerijen of diepe boorgaten een geologische omgeving met passende kenmerken nodig zijn (zie ook deel 3.4).

Gezien het conceptuele en generieke karakter van het Plan is de uitsluiting van bepaalde zones van het Belgische grondgebied voorbarig. Bij de toekomstige keuze van de locatie zal echter rekening worden gehouden met bepaalde uitsluitingszones, zoals Natura 2000-gebieden en sterk verstedelijkte gebieden, alsook met een aantal opgelegde voorwaarden in verband met bodem- en waterbescherming. De passende bescherming van de watervoorraden zal daarbij een belangrijk aandachtspunt zijn.

2.3 Indicatief tijdschema voor uitvoering

De brede internationale consensus voor geologische berging en de nationale beleidsmaatregelen die hiervoor door heel wat landen zijn goedgekeurd (tabel 3 in deel 3.5) doen niets af aan het feit dat de ontwikkeling en uitvoering van geologische berging in galerijen of diepe boorgaten een lang en stapsgewijs proces is, dat tientallen jaren in beslag neemt en waarbij sleutelbeslissingen moeten worden genomen (kiezen van de locatie voor uitvoering, verkrijgen van de nodige vergunningen enz.). Gezien de moeilijkheden en termijnen waarmee rekening moet worden gehouden, is het een hele uitdaging om een geologische-bergingsoplossing te ontwikkelen. Een dergelijke ontwikkeling vereist dan ook aanhoudende inspanningen, in goede banen geleid door een transparant besluitvormingsproces.

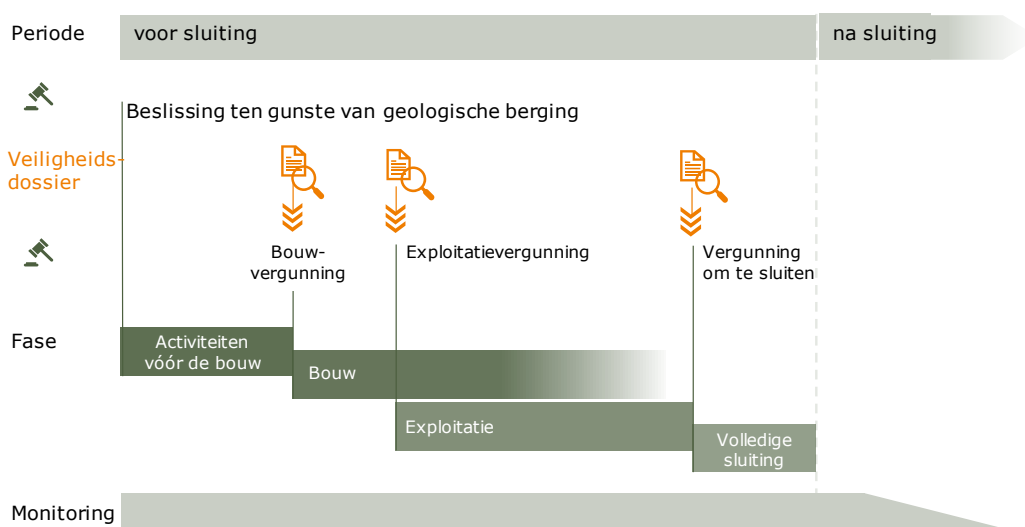
De goedkeuring van het Plan, dat de basis legt voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval in de vorm van geologische berging op Belgisch grondgebied, *zal in geen geval leiden tot de onmiddellijke uitvoering ervan op het terrein*. Het zal immers na deze goedkeuring tientallen jaren duren vooraleer het eerste afval wordt geborgen (figuur 4). Die periode zal onder andere nodig zijn om

- via onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieactiviteiten een antwoord te geven op de nog openstaande wetenschappelijke en technische vragen, de veiligheidsdossiers op te

stellen die nodig zijn voor het aanvragen van vergunningen en deze vergunningen te verkrijgen;

- het proces en de methodes van maatschappelijk overleg op te bouwen en dit overleg in stand te houden;
- in het kader van het vast te stellen besluitvormingsproces de opeenvolgende beslissingen te nemen die uiteindelijk moeten uitmonden in de keuze van een specifiek technisch project dat op een bepaalde locatie moet worden uitgevoerd, en in de bijbehorende infrastructuur, activiteiten en projecten om het vereiste maatschappelijke draagvlak voor het technische project te creëren en in stand te houden (wet van 8 augustus 1980, artikel 179, § 2, 11°);
- de bouw- en exploitatiefasen voor te bereiden, met onder meer de ontwikkeling van de vereiste technologieën;
- het geconditioneerde hoogactieve afval voldoende te laten afkoelen vooraleer het geborgen kan worden, rekening houdend met de kenmerken van de geologische gastformatie die uiteindelijk zal worden gekozen;
- het geconditioneerde afval voor te bereiden op zijn geologische berging, zodra de kenmerken van het bergingssysteem bekend zijn. Dit vereist bijvoorbeeld a priori de bouw van installaties voor de postconditionering van het afval in een bijkomende container vóór de berging — een bergingscontainer.

De periode van tientallen jaren tussen de goedkeuring van het Plan en de berging van het eerste afval zal het ook mogelijk maken om, waar nodig, in te haken op relevante wetenschappelijke en technische ontwikkelingen die de bergingsoplossing kunnen verbeteren. Dit inspielen op nieuwe ontwikkelingen blijft tot op zekere hoogte ook mogelijk gedurende de exploitatie van de geologische berging.



Figuur 4 – Chronologie van de uitvoering van geologische berging in galerijen, met inbegrip van de belangrijkste fasen van de activiteiten [volgens IAEA 2011a].

2.4 Inventaris van het betrokken afval

Het Plan heeft betrekking op *geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval*, met inbegrip van als afval aangegeven niet opgewerkte verbruikte splijtstof, afval van de opwerking van verbruikte splijtstof en als afval aangegeven overtollige splijtstof, evenals alle andere radioactief afval waarvan de kenmerken verenigbaar zijn, of verenigbaar zijn gemaakt, met geologische

berging. Geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval komt overeen met afval van categorie C en afval van categorie B volgens de classificatie van NIRAS voor het langetermijnbeheer (deel 2.4.1).

De inventaris van radioactief afval bestemd voor geologische berging bestaat uit twee delen:

- een *referentie-inventaris*, waarvan de raming, die regelmatig wordt herzien, als relatief betrouwbaar wordt beschouwd (deel 2.4.2);
- een *mogelijke aanvullende inventaris* (deel 2.4.3).

2.4.1 Classificatie van geconditioneerd radioactief afval voor het langetermijnbeheer

Voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd radioactief afval heeft NIRAS een classificatie in drie categorieën opgemaakt⁴ (figuur 5), conform de classificatie die in 1994 door het *International Atomic Energy Agency* (IAEA) [IAEA 1994] werd voorgesteld en in 2009 werd aangepast [IAEA 2009].

- Het *afval van categorie A* is geconditioneerd laag- en middelactief kortlevend afval. Het bevat beperkte hoeveelheden langlevende radionucliden. Het houdt gedurende enkele honderden jaren een risico in voor mens en milieu. Het komt in aanmerking voor oppervlakteberging of berging op geringe diepte. Het stemt overeen met het laagactieve afval van de classificatie van het IAEA van 2009.

Afval van categorie A bevat minder dan 0,5% van de totale activiteit van alle afval in België. Bijna driekwart van deze afvalcategorie is ontmantelingsafval.

- Het *afval van categorie B* is geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval. Het bevat langlevende radionucliden in dusdanige hoeveelheden dat het gedurende zeer lange tijd een risico vormt en enkele tienduizenden tot honderdduizenden jaren afgezonderd moet worden van mens en milieu. Het stemt overeen met het middelactieve afval van de classificatie van het IAEA van 2009.

Afval van categorie B bevat ongeveer 2% van de totale activiteit van alle afval in België en geeft weinig of geen warmte af. Dit type afval is voornamelijk afkomstig van onderzoeksactiviteiten, de vervaardiging van splijtstof, de opwerking van verbruikte splijtstof (met inbegrip van de opwerking in de vroegere proefopwerkingsfabriek Eurochemic) en de ontmanteling van kerncentrales en installaties voor onderzoek en vervaardiging van splijtstof. Hieronder vallen met name als afval aangegeven niet opgewerkte verbruikte splijtstof uit onderzoeksreactoren die wegens zijn laag thermisch vermogen niet tot categorie C behoort, alsook afgedankte ingekapselde bronnen die als radioactief afval moeten worden beheerd.

- Het *afval van categorie C* is geconditioneerd hoogactief afval. Het bevat grote hoeveelheden langlevende radionucliden en vormt dus, net als het afval van categorie B, gedurende zeer lange tijd een risico. Het moet dus enkele honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar, afgezonderd worden van mens en milieu. Het stemt overeen met het hoogactieve afval van de classificatie van het IAEA van 2009.

Afval van categorie C bevat ongeveer 97,5% van de totale activiteit van alle afval in België en geeft een behoorlijke hoeveelheid warmte af. Het gaat om verglaasd afval afkomstig van de opwerking van verbruikte commerciële en onderzoekssplijtstof en als afval aangegeven niet opgewerkte verbruikte splijtstof, met uitzondering van verbruikte splijtstof uit onderzoeksreactoren die wegens zijn laag thermisch vermogen tot categorie B behoort.

⁴ Deze categorieën bevatten niet het radiumhoudende afval in de opslaginstallaties van Umicore in Olen (deel 2.4.3).

	LAAG ACTIEF	MIDDEL ACTIEF	HOOG ACTIEF
KORTLEVEND AFVAL	A 	A 	C 
LANGLEVEND AFVAL	B 	B 	C 

Figuur 5 – Vereenvoudigde voorstelling van de classificatie van geconditioneerd radioactief afval met het oog op het beheer op lange termijn. Afval van categorie C geeft een behoorlijke hoeveelheid warmte af.

2.4.2 Referentie-inventaris

De referentie-inventaris is de geraamde inventaris van *bestaand en gepland* afval van de categorieën B en C [NIRAS 2019c]. Ze wordt regelmatig door NIRAS bijgewerkt op basis van haar eigen kennis en de aangiften van afvalproducenten:

- de kennis van NIRAS over bestaand afval en bestaande verbruikte splijtstof en een raming van het afval als gevolg van de toekomstige ontmanteling van de bestaande nucleaire installaties;
- aangiften van producenten met daarin hun ramingen van het afval afkomstig van exploitatie (met inbegrip van de verbruikte splijtstof die ze als afval zouden aangeven), opwerking en ontmanteling dat ze nog aan NIRAS zullen overdragen.

Bijna al het afval in de referentie-inventaris is *niet te vermijden*, in die zin dat het al bestaat, al dan niet in geconditioneerde vorm, of al 'in de maak' is, voornamelijk in de vorm van

- splijtstof die in de kernen van kernreactoren is geladen of op de sites van de centrales is opgeslagen;
- delen van gebouwen en installaties waarin activiteiten worden uitgevoerd waarbij gebruik wordt gemaakt van radioactiviteit.

De referentie-inventaris van bestaand en gepland afval van de categorieën B en C per 31 december 2018 wordt weergegeven in tabel 1. De inventaris bevat niet alleen de hoeveelheden, maar ook de activiteit van het afval. Ze bedraagt 10 900 m³ afval van categorie B⁵, 250 m³ verglaasd afval van categorie C en 3 800 tHM (ton zware metalen) niet-opgewerkte verbruikte splijtstof. Overeenkomstig de bepalingen van de wet van 31 januari 2003, zoals gewijzigd, gaat de inventaris ervan uit dat de commerciële kernreactoren Doel 1 en 2 en Tihange 1 gedurende een periode van 50 jaar zullen worden geëxploiteerd en dat de andere vier Belgische commerciële reactoren gedurende een periode van 40 jaar worden geëxploiteerd. De referentie-inventaris houdt rekening met de hypothese van Synatom op 31 december 2018 volgens welke ongeveer 1 000 tHM verbruikte splijtstof afkomstig van commerciële kernreactoren nog opgewerkt zal worden (waarvan 66 tHM verbruikte MOX-splijtstof of *mixed-oxide fuel*, dit is alle MOX die in België aanwezig is), naast de 672 tHM UOX (*uranium-oxide fuel*) die eerder werd opgewerkt. De referentie-inventaris kan worden beïnvloed

⁵ Waaronder

- de beperkte hoeveelheden radioactief afval van Belgische oorsprong die zich momenteel in het buitenland bevinden en gerepatriëerd moeten worden;
- de afgedankte ingekapselde bronnen;
- de (maximum) 30 m³ afval van categorie B afkomstig van het Groothertogdom Luxemburg die België tegen 2049 zoals overeengekomen ten laste zal nemen [België 2019; Groothertogdom Luxemburg 2018].

wanneer de veronderstelling met betrekking tot de fractie verbruikte splijtstof van commerciële kernreactoren die nog opgewerkt zal worden, zou veranderen.

Tabel 1 – Referentie-inventaris per 31 december 2018 (afgeronde cijfers) [NIRAS 2019c].

Afvalcategorie	Aantal colli of elementen	Bestaande hoeveelheid	Nog geplande hoeveelheid	Totale inventaris	Totale activiteit [Bq]	
		[volume of tHM]			α	βγ
Categorie B						
Geconditioneerd afval	31 250 colli	6 300 m³	4 600 m³	10 900 m³	7 10¹⁵	10¹⁸
Categorie C						
Verglaasd afval	1 400 colli	70 m³	180 m³	250 m³	9 10¹⁷	10¹⁹
Verbruikte splijtstof van kerncentrales	8 500 elementen	2 600 tHM	1 200 tHM	3 800 tHM	2 10¹⁸	5 10¹⁹

2.4.3 Mogelijke aanvullende inventaris

Naast de referentie-inventaris kan er ook een aanvullende inventaris worden opgesteld van afval, bestaande uit afval dat vergelijkbaar is met dat welke momenteel in categorieën B en C valt en/of andere soorten afval dan die van deze twee categorieën en die niet in een oppervlakte bergingsinstallatie zouden kunnen worden geplaatst. Afval van de volgende soorten zou bijvoorbeeld in de mogelijke aanvullende inventaris kunnen terechtkomen:

- geconditioneerd laag- en middelactief kortlevend afval waarvan de fysisch-chemische kenmerken niet zouden voldoen aan de criteria van de toekomstige nucleaire oprichtings- en exploitatievergunning voor de oppervlaktebergingsinstallatie in Dessel, maar verenigbaar zijn, of verenigbaar zijn gemaakt, met geologische berging (hoofdstuk 3);
- de meest radioactieve fractie van het radiumhoudende afval in de opslaginstallaties van Umicore in Olen, die ongeveer 10 000 m³ vóór conditionering kan bedragen. De manier waarop dit afval, dat langlevend afval is van de historische productie van radium en uranium door Umicore (het vroegere Union Minière) in Olen van 1922 tot 1977, op lange termijn moet worden beheerd, ligt nog niet vast;
- de fractie NORM-stoffen (*naturally occurring radioactive materials*) waarvoor het FANC zal beslissen dat NIRAS ze op lange termijn als radioactief afval moet beheren, volgens het FANC waarschijnlijk in de orde van enkele honderden kubieke meters vooraleer ze geconditioneerd worden⁶;
- afval afkomstig van toekomstige nucleaire installaties, die al dan niet gepland zijn, zoals de MYRRHA-installatie (prototype van een kernreactor aangedreven door een deeltjesversneller).

De mate waarin een geologische-bergingsoplossing wijzigingen van de afvalinventaris kan ondervangen wordt in hoofdstuk 11 behandeld. De impact van dergelijke wijzigingen op de milieueffecten wordt in deel 9.4 besproken.

⁶ Natuurlijk radioactieve stoffen, met een lange levensduur, worden in sommige industriële procedés gebruikt om redenen die niets te maken hebben met hun radioactieve eigenschappen. Deze procedés kunnen leiden tot een concentratie van de natuurlijke radioactiviteit in sommige residu's. Deze residu's worden momenteel opgeslagen op de sites van de producenten en op enkele bekende en gecontroleerde stortplaatsen.

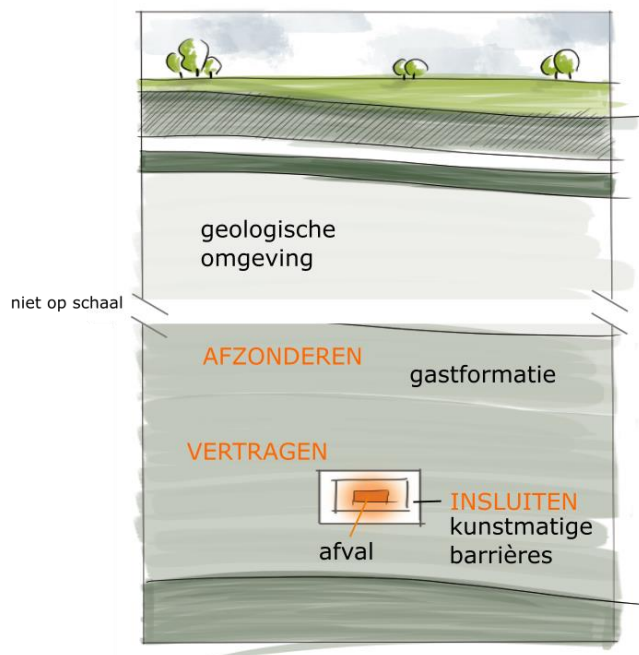
3 Geologische berging: algemene inleiding

De algemeen aanvaarde en internationaal toegepaste strategie voor het beheer van radioactief afval is *concentratie* en *insluiting*, waarbij het afval van de biosfeer wordt *afgezonderd*, in tegenstelling tot een strategie van verdunning en verspreiding van de radioactieve stoffen in het milieu.

Volgens het IAEA [IAEA 2011b] "beoogt berging de volgende doelstellingen:

- a) *het afval insluiten;*
- b) *het afval van de toegankelijke biosfeer afzonderen en de waarschijnlijkheid en alle mogelijke gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie in het afval aanzienlijk verminderen;*
- c) *de migratie van radionucliden van het afval naar de toegankelijke biosfeer te allen tijde voorkomen, beperken en vertragen;*
- d) *ervoor zorgen dat de hoeveelheden radionucliden die in de toegankelijke biosfeer terechtkomen als gevolg van een migratie vanuit de bergingsinstallatie van dien aard zijn dat de mogelijke radiologische gevolgen te allen tijde aanvaardbaar laag zijn."*
[vertaling NIRAS]

In alle betrokken landen wordt bij het ontwerp en de ontwikkeling van oplossingen voor de berging van radioactief afval altijd een systeembenadering gevolgd, volgens een multibarrièreconcept (figuur 6): de systemen, en meer bepaald hun kunstmatige barrières (verpakking van het afval en barrières van de bergingsinstallatie), worden ontworpen in overeenstemming met de kenmerken van de gastformatie en het in te sluiten en af te zonderen afval, zodanig dat de combinatie van '*natuurlijke barrières + kunstmatige barrières + afval*' mens en milieu op een passieve manier kan beschermen, door de radionucliden en chemische contaminanten *in te sluiten*, de migratie ervan naar de biosfeer te *vertragen* en de bergingsinstallatie *af te zonderen* van de biosfeer.



Figuur 6 – Voorstelling van het multibarrièreconcept in geval van geologische berging. Een geologische-bergingssysteem sluit de radionucliden en de chemische contaminanten in, zondert ze af en vertraagt de migratie ervan naar de biosfeer.

Geologische berging is,

- volgens het internationale kader voor het beheer van radioactief afval (kader 1 in deel 1.1) [IAEA 1997; Europese Raad 2011],
- volgens de internationale consensus [bijvoorbeeld, NEA 1995, 2008; IAEA 2003; Blue Ribbon Commission 2012; CoRWM 2018],
- en volgens het FANC [FANC 2015],

de enige mogelijke oplossing voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief afval (afval van categorie C). Dat is ook het standpunt van NIRAS: enkel een geologische-bergingsoplossing kan zo worden ontworpen en uitgevoerd dat de bescherming van mens en milieu zo lang als nodig gewaarborgd blijft. Zodra de installatie volledig gesloten is, verzekert het bergingssysteem de veiligheid op passieve wijze: er is geen herhaaldelijk menselijk ingrijpen meer nodig en het voorkomt dat lasten worden doorgeschoven naar de toekomstige generaties. De resterende activiteit die na enkele honderdduizenden jaren in het milieu vrijkomt als gevolg van de natuurlijke evolutie van een goed ontworpen en uitgevoerd bergingssysteem moet verwaarloosbaar laag zijn. Geconditioneerd langlevend afval van categorie B moet ook geologisch geborgen worden, maar dit kan eventueel op een geringere diepte dan geconditioneerd hoogactief afval.

Ter uitvoering van de wet van 8 augustus 1980 moet de geologische-bergingsoplossing later gepaard gaan met modaliteiten in verband met de omkeerbaarheid van het besluitvormingsproces, het terugnemen van het afval en de monitoring van het bergingssysteem gedurende een nader te bepalen periode.

Er zijn twee mogelijke opties voor geologische berging: geologische berging in galerijen (deel 3.1) en geologische berging in diepe boorgaten (deel 3.2), die vanuit verschillende gezichtspunten met elkaar vergeleken worden (deel 3.3). Veel landen hebben geologische berging al aangenomen als nationale beleidsmaatregel voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval (deel 3.5). Als geologische gastformatie wordt over het algemeen gekozen voor evaporieten, kristallijne gesteenten of kleiformaties (deel 3.4).

3.1 Geologische berging in galerijen

Geologische berging in galerijen gebeurt door het geconditioneerde radioactieve afval in een speciaal ontworpen installatie te plaatsen die op een passende diepte in een geschikte geologische gastformatie werd gebouwd. Volgens het IAEA moet geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval geborgen worden op enkele tientallen tot honderden meters diepte en wordt geconditioneerd hoogactief afval doorgaans geborgen in stabiele geologische formaties op enkele honderden meters diepte of meer [IAEA 2009]. In de praktijk bedragen de dieptes die in aanmerking genomen worden voor geologische berging, in galerijen, van geconditioneerd hoogactief afval, eventueel samen met geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval, meestal in de orde van 400 tot 500 meter, maar kunnen ze lager liggen, afhankelijk van de geologische context en de verwachte evolutie. Ze bedragen nooit meer dan 1 000 meter, ongeacht de gekozen gastformatie. Een grotere diepte gaat immers gepaard met een toename van de technische moeilijkheden, operationele risico's en kosten, en wordt niet gecompenseerd door een aanzienlijke toename van de bescherming van mens en milieu op lange termijn.

Naast de ondergrondse installatie zijn voor geologische berging in galerijen ook bovengrondse installaties, toegangsschachten en, desgevallend, een of meer toegangstunnels nodig (figuur 13 in deel 9.1). De berging van het afval kan worden voorafgegaan door een industriële proeffase, met name om de manutentie van dummy bergingscontainers en de monitorings-technieken in reële omstandigheden te testen. Zodra al het afval in de installatie is geplaatst, kan die volledig worden gesloten, onmiddellijk of na enige tijd, in één keer of stapsgewijs, maar

zonder dat een uitgestelde sluiting de veiligheid en beveiliging in gevaar mag brengen⁷ (zie deel 9.1.3 voor een overzicht van de belangrijkste uitvoeringsfasen en de daarmee verbonden activiteiten). De aldus gesloten installatie wordt in principe in het begin gemonitord, op voorwaarde dat die monitoring de globale veiligheid van het systeem niet in het gedrang brengt. De bovengrondse installaties kunnen volledig of deels worden afgebroken om de site weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat te brengen.

Alle geologische-bergingssystemen die wereldwijd worden geëxploiteerd, in aanbouw zijn of in de studiefase verkeren, zijn gebaseerd op de door het IAEA bepaalde doelstellingen van berging (zie inleiding van het hoofdstuk). De ontwikkeling van een geologische-bergingsinstallatie in een specifieke gastformatie vergt een systeembenadering waarbij rekening wordt gehouden met de kenmerken van het afval dat geborgen moet worden, de kunstmatige barrières en de omliggende natuurlijke barrières (gastformatie en geologische omgeving); de kunstmatige barrières worden ontwikkeld op basis van de kenmerken van het afval en de natuurlijke barrières. Elk geologische-bergingssysteem is of zal dus uniek zijn, vanwege de specifieke kenmerken van het afval en de verschillende gastformaties (figuur 7 en deel 3.4.1) en hun respectieve geologische omgevingen.

- Elk van deze *gastformaties* heeft een brede waaier van geologische kenmerken. Afhankelijk van de geologieën die in de ondergrond van de landen aanwezig zijn, kunnen een of meer soorten gastformaties kenmerken hebben die ze geschikt maken voor geologische berging.
- *Kunstmatige barrières* kunnen bestaan uit verschillende soorten materialen, zoals metalen, beton en natuurlijke materialen zoals klei. De keuze ervan is erop gericht om zowel de operationele veiligheid als de langetermijnveiligheid te garanderen. De wens om het afval na de volledige sluiting van de installatie gedurende bepaalde tijd te kunnen terugnemen, kan ook invloed hebben op de keuze van bepaalde kunstmatige barrières en/of bouwtechnieken.
- De *kenmerken van het afval*, bijvoorbeeld het al dan niet afgeven van warmte of de aard van de conditioneringsmatrix, beïnvloeden het ontwerp en de uitvoering van de bergingsinstallatie.

Talrijke landen hebben voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval al een nationale beleidsmaatregel aangenomen ten gunste van geologische berging in galerijen en er worden al enkele installaties geëxploiteerd in evaporieten en kristallijne gesteenten (deel 3.5). De bouw van ondergrondse laboratoria in kleiformaties (in België, Frankrijk en Zwitserland) en tests op ware grootte (bijvoorbeeld het uitgraven met industriële technieken) hebben de haalbaarheid van de bouw van een bergingsinstallatie in galerijen in dergelijke formaties aangetoond. In het algemeen zijn ondergrondse laboratoria die in potentiële gastformaties zijn gebouwd, waardevolle instrumenten om ze te karakteriseren, langlopende experimenten en demonstratieproeven in situ en op een representatieve schaal uit te voeren en monitoringinstrumenten te testen en te ontwikkelen. Ondergrondse laboratoria zijn ook instrumenten om met het publiek te communiceren en kennis over te dragen tussen specialisten.

De studies in verband met geologische berging in galerijen die sinds de jaren 1970 in België zijn uitgevoerd, wijzen op de aanwezigheid in België van weinig verharde kleiformaties waarin een geologische-bergingsinstallatie zou kunnen worden gebouwd (zie ook deel 3.4.2.3) [NIRAS 1989, 2001a, 2001b, 2011a, 2013]. De wetenschappelijke en technische verworven kennis en ervaring werden meermaals geëvalueerd door Belgische en buitenlandse experts [NEA 2003; Olsthoorn 2011] en er werd geen enkel onoverkomelijk obstakel vastgesteld: weinig verharde

⁷ Veiligheid: bescherming van mens en milieu tegen de risico's van ioniserende straling en veiligheid van de installaties en activiteiten die stralingsrisico's met zich meebrengen.
Beveiliging: preventie, detectie en bestrijding van diefstal, sabotage, ongeoorloofde toegang, illegale overbrenging of andere kwaadwillige handelingen met kerntechnische materialen of andere radioactieve stoffen en bijbehorende installaties.

kleiformaties zijn in staat om het vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten in de biosfeer te vertragen en het afval af te zonderen, en het blijkt haalbaar om in dit soort formaties een geologische-bergingsinstallatie te bouwen met behulp van industriële methodes. De onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieactiviteiten worden voortgezet om de kennis te vervolledigen en te verfijnen. Met name in het ondergrondse onderzoekslaboratorium van Mol, gebouwd in klei op een diepte van ongeveer 220 meter, vindt sinds 2014 het PRACLAY-verwarmingsexperiment plaats, dat tot dusver aangeeft dat de eigenschappen van klei, die gunstig zijn voor de insluiting van geconditioneerd hoogactief afval, niet noemenswaardig worden beïnvloed door de warmte. Het ondergrondse laboratorium is door het IAEA overigens erkend als een excellentiecentrum voor bergingstechnieken en voor de opleiding van wetenschappers. Ook andere soorten formaties dan weinig verharde klei zouden in België overwogen kunnen worden als gastformaties voor geologische berging in galerijen (deel 3.4.2).

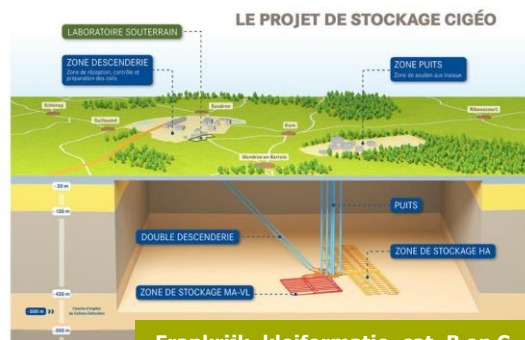
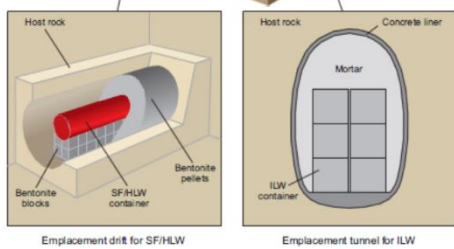
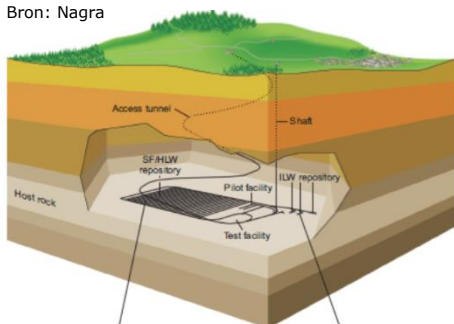
De onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratiestudies (en het behoud van de competenties en vaardigheden) zijn het voorwerp van uitwisselingen en samenwerkingen met het buitenland (internationale instellingen, agentschappen voor het beheer van radioactief afval, onderzoekscentra enz.). Door deze uitwisselingen en samenwerkingen kunnen de regels van goede praktijk, de kennis en de middelen worden gedeeld.

Hoewel het Plan de oplossing van geologische berging *op Belgisch grondgebied* voorstelt, overeenkomstig de bepalingen van het wettelijke en reglementaire kader (deel 1.1), sluit dit kader niet uit dat geologische berging in galerijen kan worden overwogen — dit voorstel wordt soms geopperd — in een multinationale context, waarbij verschillende landen dezelfde installatie zouden delen. Een dergelijke multinationale installatie zou *zowel in België als in het buitenland* kunnen gerealiseerd worden. Dit zou een beheerovereenkomst tussen de betrokken landen vereisen.

De variant 'multinationale geologische berging in galerijen' van de optie 'geologische berging in galerijen in België' wordt voor de volledigheid voorgesteld in kader 2. Deze variant zou hetzelfde soort milieueffecten hebben als een nationale bergingsoplossing die op Belgisch grondgebied wordt uitgevoerd, maar met nog meer onbekenden, aangezien het geografische gebied van de mogelijke uitvoering zich dan tot ver buiten de Belgische grenzen zou uitstrekken en de afvalinventaris onbekend zou zijn, omdat ze ook buitenlands afval van niet-geïdentificeerde partnerlanden zou omvatten.

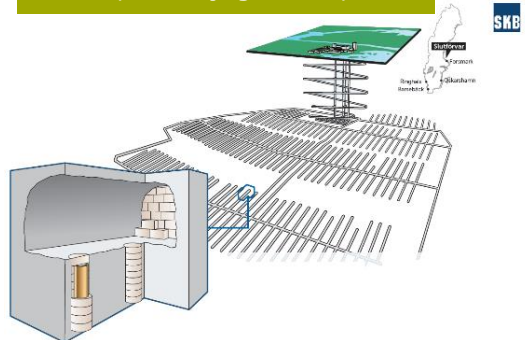
Zwitserland, kleifformatie, cat. A, B en C

Bron: Nagra



Bron: Andra

Zweden, kristallijn gesteente, cat. C



Duitsland, kalksteen onder klei, cat. A en B, in aanbouw



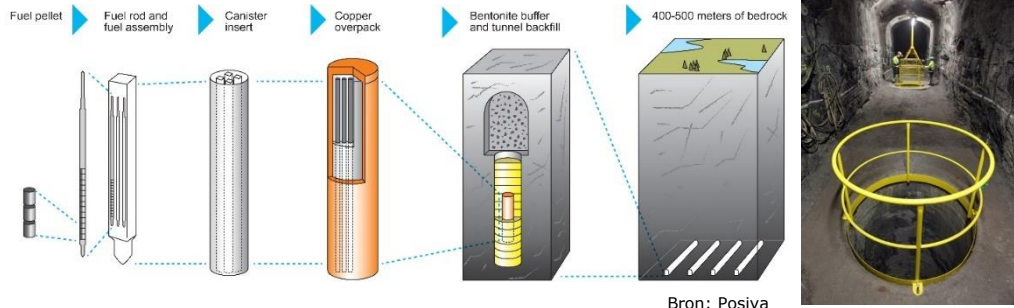
Bron: BGE

Hongarije, kristallijn gesteente, cat. A en B, in exploitatie



Bron: Duna-Dráva

Finland, kristallijn gesteente, cat. C, in aanbouw



Bron: Posiva

Figuur 7 – Geologische berging in galerijen in andere landen (zie ook deel 2.4.1 voor de classificatie van radioactief afval en tabel 3 in deel 3.5 voor een ruimer overzicht van de situatie in het buitenland).

Kader 2 — Multinationale geologische berging in galerijen

Het concept van multinationale, of gedeelde, geologische berging in galerijen is sinds het midden van de jaren zeventig het voorwerp van discussie en werkzaamheden onder deskundigen op internationaal vlak en wekt steeds meer belangstelling. Deze evolutie ligt in de lijn van het Gezamenlijk Verdrag en de richtlijn 2011/70/Euratom: hoewel de verdragsluitende partijen en de lidstaten van de Europese Unie stellen dat radioactief afval geborgen zou moeten worden in het land waar het geproduceerd werd, erkennen ze dat het delen van bergingsinstallaties, onder bepaalde voorwaarden, met name om een hoog veiligheidsniveau te waarborgen, voor sommige landen een geldige optie zou kunnen zijn. De berging, in het bijzonder geologische berging in galerijen, vereist immers aanzienlijke financiële middelen, een ongewone deskundigheid en een gunstige natuurlijke omgeving, die allemaal moeilijk te verwezenlijken kunnen zijn, vooral voor (kleine) landen met een beperkte inventaris van radioactief afval: de inspanning, vooral op het gebied van onderzoek en ontwikkeling en de keuze van een locatie, is immers grotendeels onafhankelijk van de te beheren afvalinventaris. De evolutie van de werkzaamheden rond het concept van gedeelde geologische berging sinds de jaren zeventig werd door NIRAS samengevat [NIRAS 2019d].

In de praktijk vorderen de initiatieven inzake gedeelde geologische berging in galerijen zeer langzaam: hoewel de schaalvoordelen die door dergelijke installaties mogelijk worden gemaakt aantrekkelijk kunnen zijn, overstijgt de uitdaging om ze te ontwikkelen en te realiseren de uitdaging om nationale bergingsinstallaties te ontwikkelen en te realiseren: met name de politieke en maatschappelijke aanvaarding van de berging van radioactief afval van buitenlandse oorsprong is een nog grotere uitdaging dan de aanvaarding van de berging van afval dat geproduceerd werd op het nationale grondgebied. Ondanks aangehouden inspanningen zijn er geen concrete vooruitzichten voor gedeelde geologische-bergingsinstallaties in galerijen.

- De meeste initiatieven van het commerciële type, waarbij een gastland voorstelt om zijn inventaris van voor berging bestemd afval aan te vullen met ingevoerd afval, werden vroegtijdig stopgezet, voornamelijk als gevolg van politieke en maatschappelijke tegenstand. Het enige initiatief van dit type is een Russisch initiatief om verbruikte splijtstof van (Sovjet-)Russische oorsprong terug te nemen, waarvan België echter geen gebruik kan maken.
- Oude en lopende initiatieven die gericht zijn op samenwerkingsscenario's, waarbij partnerlanden een programma voor gedeelde berging ontwikkelen om het in één ervan uit te voeren, zijn conceptuele studies. Deze werkzaamheden worden voornamelijk uitgevoerd in het kader van het *International Atomic Energy Agency* en via een werkgroep, de *European Repository Development Organisation Working Group* (ERDO-WG), die in 2009 werd opgericht en op 31 december 2018 bestond uit Denemarken, Italië, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Polen en Slovenië. Ze wordt bijgestaan door de *Association for Regional and International Underground Storage* (Arius), die in 2002 werd opgericht om concepten van maatschappelijk aanvaardbare internationale en regionale oplossingen voor een veilige, milieuvriendelijke en economische opslag en berging van langlevend radioactief afval te bevorderen. De concrete vooruitgang verloopt traag: de oprichting van een ERDO — een organisatie voor de ontwikkeling van een Europese berging — die voor midden 2013 gepland was, is nog niet gebeurd en een herdefiniëring van de prioriteiten van de ERDO-WG doet vermoeden dat er in de komende jaren geen ERDO zal worden opgericht.

In België was de werkhypothese voor de geologische berging van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval altijd die van een nationale oplossing op het nationale grondgebied, in tegenstelling tot een gezamenlijke oplossing voor het Belgische afval en aanzienlijke hoeveelheden buitenlands afval, die op het Belgische grondgebied of in het buitenland zou kunnen worden uitgevoerd. Pas in het begin van de jaren 2000 toonde België belangstelling voor een gedeelde berging, door zeer kortstondig, via NIRAS, mee te werken aan de werkzaamheden van Arius en aan het internationale proefproject SAPIERR (*Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories*), dat door Arius werd voorgesteld om lidstaten van de Europese Unie, die belang hebben bij de evaluatie van de mogelijkheden voor gedeelde opslag en berging van geconditioneerd middel- en hoogactief afval, te verenigen. Sinds 2005 zijn NIRAS en België niet langer actief of als waarnemer betrokken bij de initiatieven die de ontwikkeling van een concept van gedeelde berging ondersteunen.

De voorstellen die NIRAS in de periode 2011-2018 bij haar voorgedij heeft ingediend om de basis te leggen voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, waren allemaal gebaseerd op de oplossing van geologische berging op het nationale grondgebied en bevatten ofwel een engagement ofwel een suggestie dat NIRAS de internationale ontwikkelingen met betrekking tot de mogelijkheden van gedeelde geologische-bergingsinstallaties zou volgen, om zo de mogelijke impact van dergelijke initiatieven op het Belgische geologische-bergingsprogramma te identificeren.

De mogelijke beslissing om België een zogenaamde *dual track*-aanpak te laten volgen, dat wil zeggen een aanpak waarbij een land dat werkt aan een gedeelde bergingsoplossing, tegelijkertijd een bergingsprogramma ontwikkelt dat kan leiden tot een oplossing voor zijn eigen afval op zijn grondgebied, is een politieke beslissing. Het enige initiatief dat op dit ogenblik van praktisch belang kan zijn voor België is de ERDO-WG. Een mogelijke deelname aan dit initiatief zou België echter niet ontslaan van de verplichting om verder te werken aan zijn nationale bergingsprogramma totdat de gedeelde berging operationeel wordt, hetzij in het buitenland, hetzij in België. Volgens de internationale consensus moeten landen die deelnemen aan een initiatief om een gedeelde-bergingsoplossing te ontwikkelen, hun eigen expertise ontwikkelen en werken aan een nationale oplossing waarop ze kunnen terugvallen. Er zijn overigens geen aanwijzingen dat gedeelde berging sneller kan worden gerealiseerd dan nationale berging. De levensvatbaarheid van een dergelijke oplossing op Europees vlak wordt voor het overige beperkt door het feit dat ongeveer de helft van de Europese landen de invoer van radioactief afval op hun grondgebied met het oog op de berging ervan verbiedt [Europese Commissie 2019].

Aangezien gedeelde berging en nationale berging conceptueel gelijkwaardig zijn, zijn de milieueffecten ervan ook vergelijkbaar. De beschrijvende beoordeling van de effecten van gedeelde berging bevat echter meer onbekenden, omdat niet alleen de locatie ervan, maar ook de afvalinventaris onbekend zijn. De beschrijvende beoordeling van de effecten van een dergelijke berging, in vergelijking met het geval waarin de partnerlanden hun eigen berging zouden uitvoeren, wordt in deel 9.6 geschetst.

3.2 Geologische berging in diepe boorgaten

Op internationaal vlak zijn de werkzaamheden met betrekking tot de geologische berging van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval in *diepe* boorgaten⁸ — hoofdzakelijk conceptuele studies —, waarvan de eerste al enkele tientallen jaren geleden plaatsvonden, altijd marginaal gebleven in vergelijking met de werkzaamheden met betrekking tot de geologische berging van dat afval in galerijen. De laatste jaren worden deze werkzaamheden voornamelijk uitgevoerd in Duitsland, de Verenigde Staten en Zuid-Korea. Hoewel het onderwerp sterk evolueert, blijven de concepten van geologische berging in diepe boorgaten beduidend minder matuur dan die van geologische berging in galerijen, zowel vanuit het oogpunt van de toe te passen technologieën als vanuit dat van het wetenschappelijke vermogen om aan te tonen dat dergelijke bergingssystemen in staat zijn mens en milieu zo lang als nodig is te beschermen tegen de risico's die het afval met zich meebrengt.

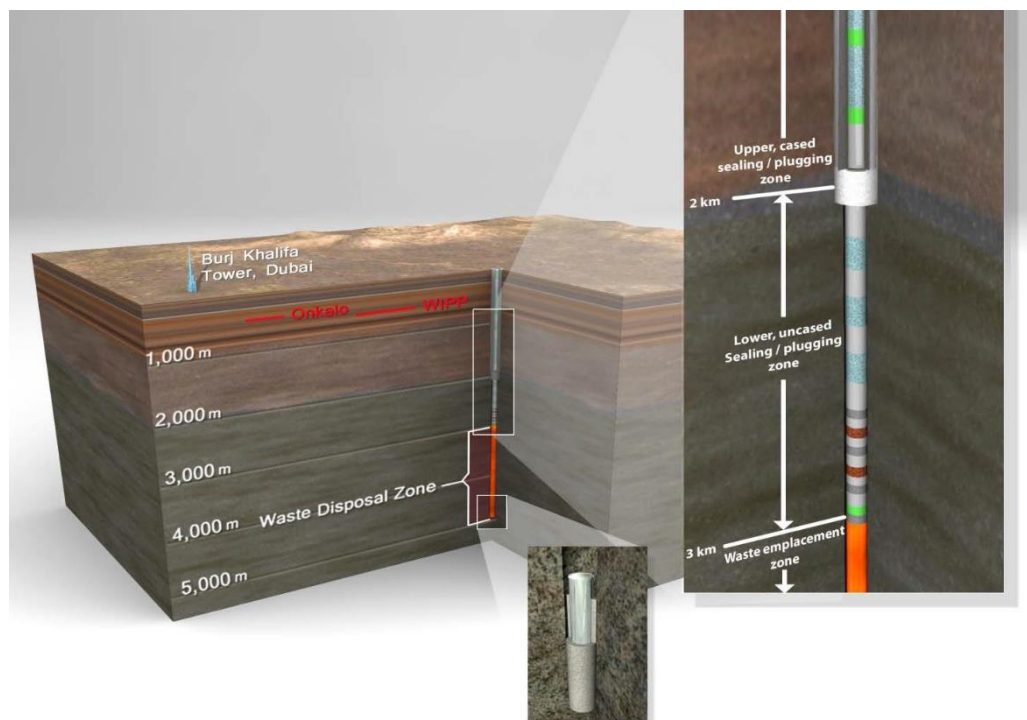
NIRAS heeft geen eigen kennis ontwikkeld, laat staan onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratie-ervaring opgebouwd, op het gebied van geologische berging in diepe boorgaten. Ze heeft echter een literatuurstudie over dit onderwerp laten uitvoeren [NIRAS 2019b] die het, samen met enkele andere recente publicaties [bijvoorbeeld Bracke 2017; Chapman 2019; CoRWM 2019; Muller *et al.* 2019], mogelijk maakt om de volgende algemene synthese op te stellen. De synthese bestaat uit een korte beschrijving van het concept van diepe boorgaten (deel 3.2.1), de voor- en nadelen ervan en de uitdagingen die ermee gepaard gaan (deel 3.2.2).

3.2.1 Diepe boorgaten

Tot voor kort verwees de notie van geologische berging in diepe boorgaten enkel op berging in *verticale* diepe boorgaten. Sinds 2016 ontwikkelt een Amerikaans privébedrijf, *Deep Isolation*, een technologie die vaak gebruikt wordt in de olie-industrie — namelijk afgebogen boorgaten of *deviated drillings*, een technologie waarbij diepe boorgaten worden gemaakt waarvan het onderste stuk (sub)horizontaal is — om ze geschikt te maken voor geologische berging.

Geologische berging in verticale diepe boorgaten bestaat conceptueel uit het 'stapelen' van colli met geconditioneerd radioactief afval in smalle boorgaten van meer dan 1 000 meter diep (figuur 8). De meeste studies overwegen om het afval te bergen in boorgaten die 5 tot 6 kilometer diep kunnen zijn. De bergingszone, gelegen in het onderste deel van de boorgaten, kan tot 2 kilometer lang zijn en een diameter van 40 tot 90 cm hebben. De ringvormige ruimte tussen de bekleding van het boorgat en zijn omgeving en tussen de afvalcolli en de bekleding van het boorgat kunnen worden gevuld met materialen die gekozen zijn om de best mogelijke prestaties van het bergingssysteem te garanderen. Op regelmatige afstanden in de bergingszone worden horizontale 'stoppen' geplaatst om zowel de verticale druk op de afvalcolli als het risico op het opwaarts migreren van radionucliden en chemische contaminanten langs de wanden van het boorgat te verminderen. Het boorsegment dat zich boven de bergingszone bevindt, wordt op passende wijze afgesloten. Na de volledige sluiting van het boorgat sluit het systeem het radioactieve afval veilig en passief in en zondert het af zolang dat nodig is, althans in theorie: het is immers nog niet mogelijk om de veiligheid van diepe boorgaten op een overtuigende manier aan te tonen. Beperkte monitoring is mogelijk, maar is noodzakelijkerwijs zeer indirect wegens de diepte van het boorgat. Het concept van geologische berging in diepe boorgaten leent zich voor een modulaire exploitatie, in opeenvolgende boorgaten. Nadat het laatste boorgat is gesloten, kunnen de bovengrondse installaties volledig of gedeeltelijk worden afgebroken om de site weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat te brengen.

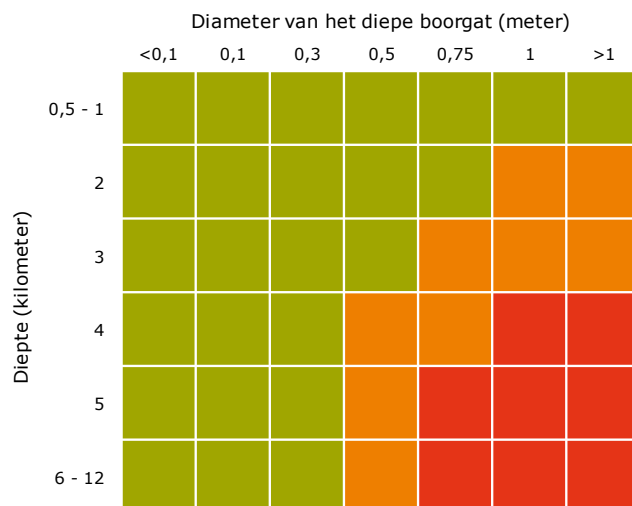
⁸ Niet te verwarren met geologische berging 'in boorgaten', die betrekking heeft op berging in boorgaten op dieptes van enkele tientallen tot enkele honderden meters en die doorgaans wordt overwogen voor middelactieve ingekapselde bronnen.



Figuur 8 – Standaardvoorstelling van geologische berging in verticale diepe boorgaten [Freeze *et al.* 2019].

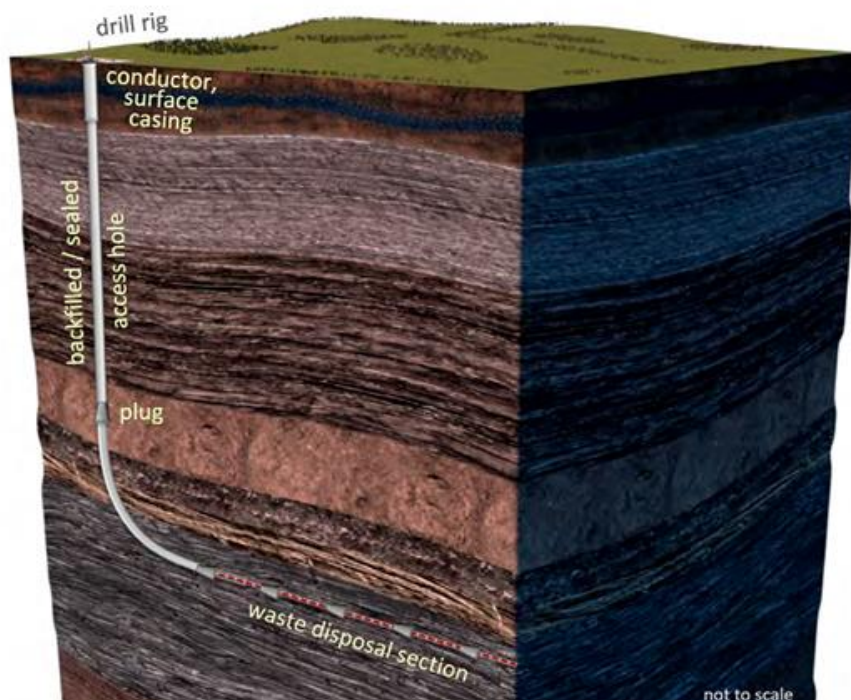
Nog nooit is geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval geborgen in verticale diepe boorgaten. Het lijkt mogelijk, hoewel moeilijk, om verticale diepe boorgaten met een diameter van 0,7 meter en een diepte van vijf kilometer te boren (figuur 9). Deze diameter zou de approximatieve minimumdiameter zijn voor de berging van de colli met verglaasd afval en verbruikte splijtstof uit de referentie-inventaris (deel 2.4.2), op basis van de veronderstelling dat zowel de colli met verglaasd afval als de splijtstofelementen in bergingscontainers worden geplaatst. Voor bijna 90% van de bestaande en geplande colli met geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval zouden boorgaten — moeilijk uit te voeren — met een grotere diameter dan 0,7 meter nodig zijn.

De kennis over de aanwezigheid, in België, van geologische formaties die geschikt zijn voor geologische berging in verticale diepe boorgaten is heel beperkt. De concepten die in het buitenland worden overwogen, hebben over het algemeen betrekking op berging in een diepe, kristallijne sokkel onder min of meer ondoorlatende kleilagen.



Figuur 9 – Uitvoerbaarheid van diepe boorgaten, volgens ramingen van 2015, in functie van de inwendige diameter en de diepte. De in het groen aangegeven afmetingen zijn haalbaar met de bestaande technologieën, die in het geel lijken haalbaar op voorwaarde dat de huidige technologieën verder worden ontwikkeld en die in het rood zouden aanzienlijke ontwikkelingen vereisen [volgens Sowder et al. 2016].

Het *Deep Isolation Project* [Muller et al. 2019] daarentegen slaat op de geologische berging in zogenaamde ‘afgebogen’ boorgaten (figuur 10). In dit concept wordt het onderste stuk van het boorgat, dat gebruikt wordt voor de berging, afgebogen naar een horizontale of bijna horizontale positie, op een diepte tussen de dieptes die worden overwogen voor geologische berging in galerijen en die welke doorgaans worden aangetroffen in bergingsconcepten in verticale diepe boorgaten. De bergingszone kan tot 3 kilometer lang zijn. De gastformatie kan a priori van dezelfde aard zijn als gastformaties die in aanmerking kunnen komen voor geologische berging in galerijen.



Figuur 10 – Standaardvoorstelling van geologische berging in afgebogen boorgaten [Muller et al. 2019].

Hoewel het Plan de oplossing van geologische berging op *Belgisch grondgebied* voorstelt, overeenkomstig de bepalingen van het wettelijke en reglementaire kader (deel 1.1), sluit dit kader niet uit dat geologische berging in diepe boorgaten kan worden overwogen in een multinationale context, waarbij verschillende landen dezelfde boorgaten zouden delen. Terwijl sommige landen overwegen om boorgaten van enkele tientallen tot enkele honderden meters diep te delen, lijkt het delen van boorgaten van enkele kilometers diep nergens te worden overwogen. Het SEA houdt daarom geen rekening met de variant 'multinationale geologische berging in diepe boorgaten' van de optie 'geologische berging in diepe boorgaten in België'.

3.2.2 Voordelen, nadelen en uitdagingen

Terwijl geologische-bergingsinstallaties in galerijen zich in sommige landen in de operationele fase bevinden, is de kennis en knowhow met betrekking tot geologische berging in diepe boorgaten relatief beperkt en lijken er daarover geen specifieke publicaties van internationale instanties te bestaan. Een korte opsomming van de voor- en nadelen en de uitdagingen die zij bieden, is dan ook nuttig.

De belangrijkste voor- en nadelen van diepe boorgaten, op voorwaarde dat de gastformatie en de locatie van de boorgaten goed worden gekozen en ongeacht de uitdagingen die ze meebrengen op het vlak van de veiligheidsdemonstratie en de technische haalbaarheid, zijn de volgende:

- voordelen:
 - ▶ de afwezigheid of bijna-afwezigheid van grondwaterbewegingen op de dieptes waarop het afval wordt geborgen en de geringe kans op uitwisselingen met het grondwatersysteem dicht bij het oppervlak, dat zelf verbonden is met de biosfeer;
 - ▶ de grote dikte van het geheel van de geologische lagen die het afval van de biosfeer afzonderen;
 - ▶ de onmogelijkheid, of in ieder geval de zeer grote moeilijkheid, om het afval terug te nemen na de volledige sluiting van de boorgaten (voor afvaltypes waarvan het wenselijk zou zijn dat ze nooit worden teruggenomen, bijvoorbeeld om redenen van non-proliferatie);
- nadelen:
 - ▶ volgens sommige opvattingen het feit dat het bergingssysteem hoofdzakelijk een monobarrièresysteem is, waarbij de enige echte barrières geologisch zijn (de gastformatie en sommige van de bovenliggende geologische lagen);
 - ▶ de relatief kleine diameter van de colli die kunnen worden geborgen;
 - ▶ de onmogelijkheid, of in ieder geval de zeer grote moeilijkheid, om het afval terug te nemen na de volledige sluiting van de boorgaten (indien de terugneembaarheid van het afval wordt opgelegd).

Berging in diepe boorgaten brengt ook een reeks wetenschappelijke en technologische uitdagingen met zich mee, waaronder met name:

- wetenschappelijke uitdagingen:
 - ▶ de toereikende karakterisering van de gastformatie, die nodig is om de fenomenen te begrijpen die zich in het bergingssysteem zullen voordoen; dit is enkel mogelijk door proefboorgaten, in tegenstelling tot een karakterisering via een ondergronds laboratorium;
 - ▶ de studie van de effecten van de omstandigheden die zich voordoen op grote diepte, met name het effect van de temperatuur, de druk en de chemische omstandigheden, op de afvalcolli;

- ▶ de ontwikkeling van technieken voor het sluiten van boorgaten die de preferentiële transportwegen van radionucliden en chemische contaminanten naar het oppervlak uitschakelen en zo de zone waar het afval wordt geborgen perfect afzonderen van de biosfeer;
- ▶ de overtuigende modellering en evaluatie van het gedrag van het bergingssysteem op lange termijn om de veiligheid ervan te beoordelen;
- technologische uitdagingen:
 - ▶ het graven van boorgaten met een diameter van 0,7 meter of meer in de bergingszone, die a priori meer dan twee kilometer diep is;
 - ▶ het plaatsen van zeer zware colli op grote dieptes, waarbij men zich tegelijkertijd beveiligd tegen het risico dat de colli vallen of vast komen te zitten, met name boven de bergingszone, waar de voorwaarden voor een toereikende insluiting en afzondering van de radionucliden en chemische contaminanten niet vervuld zijn;
 - ▶ het terugnemen van afvalcolli die vast zouden komen te zitten als ze worden geplaatst.

3.3 Beknorte vergelijking van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten

Een beknopte vergelijking van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten in termen van veiligheid en uitvoerbaarheid geeft aan dat geologische berging in galerijen een geschiktere oplossing zou zijn voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval — althans voor de volledige afvalinventaris — dan geologische berging in diepe boorgaten (tabel 2).

Tabel 2 – Beknorte vergelijking van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten in termen van veiligheid en uitvoerbaarheid.

	Geologische berging in galerijen	Geologische berging in diepe boorgaten
Passief karakter op termijn?	ja	ja
Karakterisering van de gastformatie via een ondergronds laboratorium?	haalbaar	niet overwogen, vanwege de technische moeilijkheden en de hoge kosten verbonden aan de diepte
Veiligheidsdemonstratie?	■ in exploitatie: haalbaar ■ op lange termijn: haalbaar	■ in exploitatie: onzeker ■ op lange termijn: onzeker
Haalbaarheid: bestaan		
■ van geschikte locaties?	■ ja	■ waarschijnlijk
■ van passende bouwtechnieken?	■ ja	■ <i>ja</i> , voor boorgaten met een kleine diameter; <i>nog niet</i> , voor boorgaten met de vereiste diameter en diepte
■ van passende exploitatietechnieken?	■ ja	■ nog niet, tenminste voor zware colli
Gekozen door andere landen?	ja	op conceptueel niveau bestudeerd en overwogen voor kleine afvalhoeveelheden

3.4 Gastformaties

Een gastformatie⁹ en haar geologische omgeving moeten een aantal kenmerken vertonen om er een geologische-bergingsinstallatie in onder te kunnen brengen. Volgens het IAEA, en voor geologische berging in galerijen [IAEA 2011a]:

- moeten de diepte en de afmetingen van de gastformatie toereikend zijn; homogene gastformaties die gemakkelijk gekarakteriseerd kunnen worden in geologische omgevingen waarvan de evolutie redelijkerwijs kan worden geëvalueerd, hebben doorgaans de voorkeur;
- gastformaties die a priori geen structurele kenmerken vertonen die bevorderlijk zijn voor het preferentiële transport van radionucliden, zijn te verkiezen;
- moeten de mechanische eigenschappen van de gastformatie bevorderlijk zijn voor de veilige bouw, exploitatie en sluiting van de bergingsinstallatie en de stabiliteit ervan op lange termijn garanderen; evenzo moeten haar thermische en thermomechanische eigenschappen van dien aard zijn dat de installatie warmteafgevend afval kan ontvangen zonder dat ze al te grote belastingen ondergaat;
- moeten de kenmerken van de gastformatie en haar geologische omgeving helpen om de waterbewegingen in de bergingsinstallatie te beperken, zodat de insluiting en de afzondering van het afval niet in het gedrang komen;
- moeten de fysisch-chemische en geochemische kenmerken van de gastformatie en haar geologische en hydrogeologische omgeving bijdragen tot een beperking van het vrijkomen van de radionucliden en chemische contaminanten uit het bergingssysteem, of ten minste helpen de migratie van deze stoffen naar de biosfeer af te remmen;
- zou de gastformatie weinig mogen worden beïnvloed door toekomstige verschijnselen, zoals seismiciteit, vulkanisme of klimaatverandering, zodat het insluitings- en afzonderingsvermogen van het bergingssysteem op lange termijn behouden blijft.

Het gaat hier echter enkel om zeer algemene kenmerken die gewoonlijk een preselectie van potentiële gastformaties en de omgeving ervan mogelijk maken. Het is de bescherming die het bergingssysteem *in zijn geheel* biedt, door de combinatie van het afval, de kunstmatige barrières, de geologische gastformatie en haar geologische omgeving, die bepalend is.

De volgende beschrijving geeft een algemeen beeld van de geologische gastformaties die het vaakst worden overwogen in buitenlandse programma's voor de berging van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval in galerijen (deel 3.4.1) en introduceert kort de geologische formaties die in België worden aangetroffen en theoretisch in aanmerking komen voor dit soort berging (deel 3.4.2). Ze is bewust sterk vereenvoudigd, omdat de keuze van een geologische gastformatie in dit stadium geen rol speelt in het bepalen van de basis van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van dit afval.

3.4.1 In het buitenland, in het algemeen

Er bestaat een uitgebreide internationale kennisbasis over de verschillende potentiële gastformaties voor geologische berging. De gastformaties die het vaakst worden bestudeerd in buitenlandse onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's voor de berging van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval zijn van drie types: evaporieten, kristallijne gesteenten en kleifformaties. Ze zijn zelf divers en vertonen verschillende kenmerken, afhankelijk van hun locatie. Verscheidene landen hebben de gastformatie voor de berging van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval in galerijen al gekozen (tabel 3 in deel 3.5).

⁹ Standaard gebruikt het SEA de benaming 'gastformatie', zonder onderscheid te maken tussen 'gastformatie' en 'gastgesteente'. Waar nodig maakt het echter een onderscheid tussen 'gesteente' en 'formatie'.

3.4.1.1 Evaporieten

Evaporieten, vaak ten onrechte 'zoutformaties' of 'zouthoudende formaties' genoemd, zijn het gevolg van de verdamping van oude watermassa's. De aanwezigheid van zout duidt op de afwezigheid van grondwaterstromen die kunnen bijdragen tot de beweging van radionucliden en chemische contaminanten naar de biosfeer: water zou het zout immers oplossen. Zout vertoont ook andere gunstige kenmerken: het is een goede warmtegeleider en zorgt dus voor een makkelijke afvoer van de thermische belasting van warmteafgevend afval, het is uiterst plastisch en bezit daardoor zelfhelende (*self-healing*) eigenschappen voor scheuren en breuken die er eventueel in kunnen ontstaan door bouwactiviteiten, en het heeft goede mechanische eigenschappen die gunstig zijn voor het uitgraven (en dus voor de stabiliteit) van bergingsgalerijen.

Evaporieten zijn door de Verenigde Staten gekozen voor de geologische berging van geconditioneerd middelactief en langlevend afval.

3.4.1.2 Kristallijne gesteenten

Kristallijne gesteenten zijn magmagesteenten, gevormd door de zeer langzame afkoeling van magma in de diepte, of metamorfe gesteenten, die in de loop van hun geschiedenis veranderd zijn als gevolg van blootstelling aan hoge temperaturen en/of druk. Ze bevatten in het bijzonder graniet en gneis en zijn uitgebreid onderzocht als potentiële gastformaties voor de geologische berging van verbruikte splijtstof in galerijen, met name in Finland en Zweden.

Omdat kristallijne gesteenten relatief hard en zeer stabiel zijn, bieden ze een goede bescherming aan de kunstmatige barrières. Bovendien hebben ze verschillende andere gunstige eigenschappen voor de berging van afval, zoals een lage porositeit, een zeer lage doorlatendheid en een goed warmtegeleidingsvermogen, wat belangrijk is voor de berging van warmteafgevend afval. Kristallijne gesteenten hebben echter het nadeel dat ze vaak barstnetwerken vertonen, die bij de bouw van een bergingssysteem zoveel mogelijk moeten worden vermeden.

3.4.1.3 Kleiformaties

Kleiformaties worden gevormd door de afzetting van sedimenten in een zee of een meer. Ze bestaan uit een reeks formaties, van weinig geconsolideerde klei, zogenaamd 'weinig verharde klei', over min of meer sterk geconsolideerde of 'verharde' klei tot leisteen. De mate van verharding van de formaties is afhankelijk van de diageneseprocessen die zich in de loop van de geschiedenis voordoen en van mogelijke laagintensieve metamorfose (bijvoorbeeld leisteen).

Klei bezit talrijke gunstige eigenschappen voor de ontwikkeling van een bergingsinstallatie: klei laat zeer weinig water door en heeft door haar mineralogische en chemische eigenschappen een goed retentievermogen voor talrijke radionucliden en chemische contaminanten. Klei bezit bovendien een groot zelfdichtingsvermogen (*self-sealing*). Barsten en scheuren die erin ontstaan, vooral door bouwactiviteiten, gaan vanzelf weer dicht.

Kleiformaties werden met name door Zwitserland en Frankrijk gekozen voor de geologische berging van hun geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval.

3.4.2 In België

De formaties die in België theoretisch denkbaar zijn voor geologische berging zijn dezelfde als op internationaal vlak. Ze worden hieronder kort voorgesteld [Europese Commissie 1979; Wouters & Vandenberghe 1994; Vandenberghe & Laga 1996; Geologica Belgica 2001].

3.4.2.1 Evaporieten

De in België aanwezige evaporieten bevinden zich in de diepe ondergrond (van 600 m tot 3,5 km) in het Bekken van Bergen en het Kempisch Bekken. Het gaat hoofdzakelijk om anhydriet.

De in België aanwezige evaporieten zijn sterk gedegrademd of minder dik dan die welke in het buitenland worden gebruikt of overwogen.

- De evaporieten van het Bekken van Bergen bevinden zich in een structureel complexe omgeving en bestaan voornamelijk uit sterk gedegrademde lagen die onderhevig zijn aan oplossingsverschijnselen.
- De evaporieten van het Kempisch Bekken vormen dunne lagen en knollagen.

Tot op heden heeft NIRAS geen experimenteel onderzoek naar evaporieten verricht.

3.4.2.2 Kristallijne gesteenten

In België worden talrijke kristallijne gesteenten aangetroffen. Ze zijn heel divers van aard: vulkanische intercalaties, kristallijne intrusies of sokkels van graniet.

- Vulkanische intercalaties zijn minder dan tien meter dik en zijn bijgevolg te dun om in aanmerking te komen als gastformaties.
- Op verschillende plaatsen in het zuiden van het Massief van Brabant komen intrusies van kristallijne gesteenten aan de oppervlakte, die bijna allemaal ontgonnen zijn of momenteel ontgonnen worden. Er zijn nog andere intrusies aangetroffen, maar die zijn te klein van omvang. Tot slot zijn recent nog intrusies ontdekt die nader onderzocht zouden moeten worden.
- De kristallijne sokkel van graniet bevindt zich op meer dan twee kilometer diepte in het Massief van Brabant. Zijn kenmerken zijn grotendeels onbekend omdat hij nooit direct is aangeboord.

Tot op heden heeft NIRAS geen experimenteel onderzoek naar kristallijne gesteenten verricht.

3.4.2.3 Kleiformaties

In België bevatten de kleiformaties ook een waaier van formaties, gaande van weinig verharde klei over argillieten tot leisteen.

Weinig verharde klei

De weinig verharde klei die in België wordt aangetroffen, is voornamelijk Boomse Klei, aanwezig in de ondergrond van het Kempisch Bekken, en Ieperiaankleien, voornamelijk aanwezig in de ondergrond van West- en Oost-Vlaanderen.

NIRAS en het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK CEN) doen al meer dan veertig jaar onderzoek naar geologische berging in galerijen, in de Boomse Klei en, in mindere mate, in de Ieperiaankleien, van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. Volgens de verkregen resultaten vertoont deze weinig verharde klei geen onoverkomelijk obstakel voor berging in galerijen [NIRAS 1989, 2001a, 2001b, 2011a, 2013; NEA 2003]. Dit standpunt wordt gedeeld door het FANC in zijn advies over het Ontwerpplan 2010 [FANC 2010], dat niettemin de aandacht vestigt op de aanwezigheid van watervoerende lagen in de omgeving van de Boomse Klei:

'Uit de resultaten van de studies die gedurende de voorbije jaren in Mol, en meer specifiek in de Boomse Klei, uitgevoerd werden, blijkt dat er vandaag geen argumenten zijn die de

intrinsieke geschiktheid van deze kleiformatie (dus zonder rekening te houden met zijn omgeving) voor berging van radioactieve afvalstoffen in vraag stelt.'

'de aanwezigheid van watervoerende lagen in de omgeving van de Boomse Klei [wordt] slechts vermeld en niet beschouwd in de evaluatie van voor- en nadelen van deze gastformatie, noch in het perspectief van vergelijkingen met andere mogelijke formaties [...].'

NIRAS houdt rekening met de aanwezigheid van watervoerende lagen in haar studies over geologische berging in galerijen in weinig verharde klei. Elk geologische-bergingsysteem moet immers zo ontworpen worden dat op overtuigende wijze kan worden aangetoond dat de impact ervan op de watervoerende lagen en op de mensen die het water ervan zouden consumeren zeer laag zou zijn, en in ieder geval onder de toepasbare normen zou liggen.

Argillieten

De in België aanwezige argillieten dateren nu eens van het Paleozoïcum (– 541 tot – 252 miljoen jaar), dan weer van het Mesozoïcum (– 252 tot – 66 miljoen jaar).

- De paleozoïsche argillieten zijn te vinden in de perifere delen van het Massief van Brabant, in het Kempisch bekken en in de regio's Namen en Dinant. Sommige formaties kunnen a priori gunstige kenmerken vertonen voor de vestiging van een bergingsinstallatie. Tot op heden heeft NIRAS geen experimenteel onderzoek naar deze argillieten verricht.
- De mesozoïsche argillieten zijn aanwezig in het Bekken van Bergen, op het Plateau van Herve en in de Gaume. Ze zijn zeer vergelijkbaar met de argillieten die in Frankrijk en Zwitserland zijn bestudeerd als gastformaties voor geologische berging in galerijen. Tot op heden heeft NIRAS geen experimenteel onderzoek naar deze argillieten verricht.

Leisteen

Leisteen kan a priori gunstige kenmerken vertonen voor de vestiging van een bergingsinstallatie. Hij is aanwezig in het Massief van Brabant, de syncline van Neufchâteau, de faciës van La Roche en de Massieven van Rocroi en Stavelot.

Met uitzondering van sommige Franse schiefers heeft leisteen weinig analogieën in het buitenland en wordt hij elders in de wereld weinig bestudeerd als potentiële gastformatie. NIRAS heeft geen experimenteel onderzoek naar leisteen verricht.

3.5 Nationale beleidsmaatregelen van andere landen voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval

Heel wat andere landen hebben een nationale beleidsmaatregel voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval. Zo hebben 18 van de 21 OESO-landen en landen van de Europese Unie met minstens één commerciële kernreactor die geëxploiteerd wordt of definitief stilgelegd is, beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van dergelijk afval: die landen kozen allemaal voor geologische berging (tabel 3). Alleen België, Italië en Mexico hebben nog geen nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van dergelijk afval.

Van de 18 landen die kozen voor de geologische berging van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval¹⁰,

¹⁰ Sommige landen kozen ervoor om hun geconditioneerde middelactieve langlevende afval samen met hun geconditioneerde laagactieve langlevende afval te bergen in geologische formaties. De vergelijking met de situatie in België blijft relevant, omdat het Plan niet uitsluit dat geconditioneerd laag- en middelactief langlevend

- exploiteren Finland, Hongarije, de Verenigde Staten, Zuid-Korea en Zweden minstens één installatie voor geologische berging in galerijen:
 - ▶ Zuid-Korea exploiteert sinds 2015 een geologische-bergingsinstallatie voor laag- en middelactief afval. Het afval wordt geborgen in kristallijn gesteente op een diepte van 80 tot 130 meter.
 - ▶ De Verenigde Staten exploiteren sinds 1999 een geologische-bergingsinstallatie voor middelactief en langlevend militair afval, die in evaporiet op een diepte van 650 meter is gebouwd.
 - ▶ Finland exploiteert sinds 1992 en 1998 twee geologische-bergingsinstallaties voor laag- en middelactief afval, die uitgegraven zijn in kristallijn gesteente op een diepte van respectievelijk 60 tot 100 meter en 120 meter.
 - ▶ Hongarije exploiteert sinds 2012 een geologische-bergingsinstallatie voor laag- en middelactief afval. Deze installatie werd gebouwd in kristallijn gesteente, op een diepte van 200 tot 250 meter.
 - ▶ Zweden exploiteert sinds 1988 een geologische-bergingsinstallatie voor laag- en middelactief afval, uitgegraven in kristallijn gesteente op een diepte van 50 tot 100 meter onder de zee en gelegen op een kilometer van de kust. Om de capaciteit ervan te verdrievoudigen, werd een aanvraag ingediend om de installatie uit te breiden. Deze aanvraag wordt momenteel onderzocht door de Zweedse overheid.
- bouwt Duitsland een installatie voor geologische berging in galerijen voor zijn niet warmteafgevend langlevend afval en doet Finland hetzelfde voor zijn verbruikte splijtstof;
- hebben Canada en Zweden een vergunning aangevraagd voor de bouw van een installatie voor geologische berging in galerijen, die momenteel door de bevoegde autoriteiten wordt onderzocht;
- is Frankrijk van plan om in 2020 een bouwvergunning aan te vragen.

De landen van de Europese Unie die geen commerciële kernreactoren bezitten, hebben ofwel gekozen voor geologische berging van hun eventuele geconditioneerde hoogactieve afval en hun geconditioneerde laag- en middelactieve langlevende afval, desgevallend in het kader van een gedeelde oplossing buiten hun grenzen, of hebben geen nationale beleidsmaatregel voor het langetermijnbeheer van dat afval.

De feedback over geologische-bergingsinstallaties is beperkt tot operationele ervaring. Nergens ter wereld bestaan er immers al gesloten geologische-bergingsinstallaties voor laag- en middelactief afval. Er bestaan ook nog geen geologische-bergingsinstallaties voor hoogactief afval: de eerste is in aanbouw in Finland.

- Met uitzondering van de Amerikaanse bergingsinstallatie zijn alle geologische-bergingsinstallaties sinds de ingebruikneming ervan zonder onderbreking in bedrijf. De twee incidenten — een radiologisch en een klassiek incident — die zich hebben voorgedaan in de Amerikaanse bergingsinstallatie en die tot de tijdelijke sluiting ervan hebben geleid, hebben het belang van de naleving van de procedures en de invoering van een veiligheidscultuur onder de werknemers onderstreept.
- In het verleden heeft Duitsland twee verlaten zoutmijnen (evaporiet) gebruikt om er laag- en middelactief afval te bergen, respectievelijk van 1967 tot 1978 (Asse) en van 1971 tot 1998 (Morsleben). Dit procedé, dat bestond uit het gebruik van bestaande ondergrondse holtes zonder toepassing van de systeembenadering die vandaag de dag internationaal is aanbevolen, leidde tot de definitieve stopzetting van de exploitatie. Met name in Asse vertoonde de mijn, die het statuut van 'experimentele bergingsinstallatie' had, stabiliteits- en waterinsijpelingsproblemen. Het afval zal eruit worden verwijderd.

afval en geconditioneerd hoogactief afval eventueel over verschillende geologische-bergingsinstallaties op verschillende locaties zou worden verdeeld (deel 2.1).

Tabel 3 – Nationale beleidsmaatregelen van de OESO-landen en landen van de Europese Unie met minstens één commerciële kernreactor die geëxploiteerd wordt of definitief stilgelegd is voor het langetermijnbeheer van hun geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval, in de Belgische classificatie ook afval van de categorieën B en C genoemd (deel 2.4.1), en hun uitvoeringsfase. Deze nationale beleidsmaatregelen worden doorgaans bij wet vastgesteld (zie bijlage 2 voor de referenties van de documenten die deze beleidsmaatregelen vaststellen of er gewag van maken).

Land	Afval-categorieën	Nationaal beleid en jaar goedkeuring	Gastformatie	Diepte [m]	Inbedrijfstelling
België	B-C	<i>niet beslist</i>			
Bulgarije	B-C	geo. berging			
Canada	A-B	geo. berging	¹ kalksteen onder klei	680	gepland voor 2027
	C	geo. berging	2007 n.g.	n.g.	gepland voor 2040-2045
Duitsland	A-B	geo. berging	1959 kalksteen onder klei	800 – 1300	gepland voor 2028
	C	geo. berging	1973 n.g.	n.g.	gepland voor 2050
Finland	A-B	geo. berging	1983 kristallijn gesteente	60 – 100	in 1992
	A-B	geo. berging	1983 kristallijn gesteente	120	in 1998
	C	geo. berging	1987 kristallijn gesteente	400 – 450	gepland voor 2023
Frankrijk	B-C	geo. berging	2006 kleiformatie	500	gepland voor 2025 (proeffase)
Hongarije	A-B	geo. berging	1996 kristallijn gesteente	200 – 250	in 2012
	C	geo. berging	1996 kleiformatie	n.g.	gepland voor 2064
Italië	B-C	<i>niet beslist</i>			
Japan	B	geo. berging	2007 n.g.	n.g.	
	C	geo. berging	2000 n.g.	n.g.	gepland voor 2035
Mexico	B-C	<i>niet beslist</i>			
Nederland	A-B-C	geo. berging	1984 evaporiet of kleiform.	n.g.	gepland voor na 2100
Roemenië	B-C	geo. berging			gepland voor 2055
Slovenië	C	geo. berging	2016 n.g.	n.g.	
Slowakije	C	geo. berging	2015 n.g.	n.g.	gepland rond 2065
Spanje	B-C	geo. berging			
Tsjechië	C	geo. berging	2002 kristallijn gesteente	n.g.	gepland voor 2065
Verenigd Koninkrijk	B-C	geo. berging	2006 n.g.	n.g.	
Verenigde Staten	B (militair)	geo. berging	1979 evaporiet	650	in 1999
	C	geo. berging	1982 vulkaanrots	300	project opgeschort (geen budget)
Zuid-Korea	A-B	geo. berging	2005 kristallijn gesteente	80 – 130	in 2015
	C	geo. berging	2016 n.g.	n.g.	gepland voor 2053
Zweden	A-B	geo. berging	1977 kristallijn gesteente	50 – 100	in 1988
	C	geo. berging	1977 kristallijn gesteente	500	gepland voor 2030
Zwitserland	A-B	geo. berging	2005 kleiformatie	n.g.	gepland rond 2050
	C	geo. berging	2005 kleiformatie	n.g.	gepland rond 2060

n.g.: niet gekozen

¹ De geologische-bergingsinstallatie is sinds 2005 het voorwerp van een milieubeoordelingsproces en er werd in 2011 een bouwvergunning aangevraagd, maar de goedkeuring van geologische berging als nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van afval van de categorieën A en B lijkt niet in een wet geformaliseerd te zijn.

4 Alternatieven die geen redelijke vervangingsoplossingen zijn voor geologische berging

Er bestaat een brede consensus over het feit dat de alternatieven die in het verleden naar voren zijn geschoven of soms nog worden voorgesteld voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval geen redelijke vervangingsoplossingen voor geologische berging op Belgisch grondgebied zijn (tabel 4). Deze voorstellen worden volledigheidshalve beschreven, samen met de belangrijkste argumenten (op het vlak van regelgeving, veiligheid, beveiliging, milieu, maatschappij, financiën enz.) voor hun afwijzing, in overeenstemming met de internationale consensus hieromtrent. Ze worden daarom niet aan een milieueffectenbeoordeling onderworpen.

Tabel 4 – Alternatieven die geen redelijke vervangingsoplossingen zijn voor geologische berging, samen met de belangrijkste redenen voor hun afwijzing.

Opties	Belangrijkste redenen voor afwijzing
Opslag (deel 4.1)	
■ langdurig	■ heeft een duur (tot ongeveer 300 jaar) die niet verenigbaar is met de periode waarin de bescherming van mens en milieu moet worden gewaarborgd, namelijk tot enkele honderdduizenden jaren, of zelfs tot ongeveer een miljoen jaar (deel 2.4.1)
■ eeuwigdurend	■ waarborgt niet de passieve veiligheid op lange termijn en legt zo een volledige overdracht van lasten van generatie op generatie op, gedurende honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar
■ die in berging kan worden omgezet	■ vormt een tegenstrijdigheid in termen van regelgeving, principes, ontwerp en uitvoering
Geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën (deel 4.2)	
	zijn technologieën voor de recyclage van verbruikte splijtstof en geen technologieën voor langetermijnbeheer
'Exotische' oplossingen en berging aan de oppervlakte of op geringe diepte (deel 4.3)	
	zijn in strijd met de regelgeving en/of houden onbeheersbare risico's in

4.1 Opslagalternatieven

De overwogen alternatieven voor een opslag van meer dan een honderdtal jaar, dit is de maximale duur die voor tijdelijke opslag in aanmerking wordt genomen (referentiesituatie — hoofdstuk 7), zijn langdurige opslag, de zogenaamde 'eeuwigdurende' opslag en 'in berging omzetbare opslag'. Alle drie kunnen bovengronds worden uitgevoerd, of zelfs op geringe diepte. Het onderscheid tussen bovengrondse opslag en opslag op geringe diepte speelt echter geen rol bij de beoordeling van de opslagalternatieven: de bevindingen die gelden voor bovengrondse opslag gelden ook voor opslag op geringe diepte. Bovengrondse opslag en opslag op geringe diepte kunnen echter verschillen vertonen, met name inzake ontwerp en exploitatie, blootstelling aan externe verstoringen, beveiliging en het risico dat men de aanwezigheid ervan zou vergeten.

In de volgende delen wordt geen onderscheid gemaakt tussen bovengrondse opslag en opslag op geringe diepte.

4.1.1 Langdurige opslag

Langdurige opslag houdt in dat het afval in principe 100 tot 300 jaar wordt opgeslagen in speciaal daarvoor bestemde installaties, waarbij de toekomstige generaties aan het einde van deze opslag moeten beslissen hoe ze dit afval verder zullen beheren. Langdurige opslag impliceert het ontwerp en de bouw van opslaginstallaties (bovengronds of tot een diepte van enkele tientallen meters) die mens en milieu gedurende deze periode kunnen beschermen, met periodieke controles en onderhoud en mits regelmatig nazicht van de integriteit van de afvalcolli die ze bevatten, met zo nodig de herverpakking of herconditionering van het afval. De opslagsite moet bovendien ook worden gecontroleerd en onderhouden en moet onder toezicht blijven staan. Menselijke acties blijven dus gedurende deze hele periode nodig voor de bescherming van mens en milieu. Langdurige opslag is dan, wat het beheer en de vereiste installaties betreft, gelijkwaardig aan de eerste stap van eeuwigdurende opslag (deel 4.1.2).

Elke vergelijking van de belangrijkste voor- en nadelen van langdurige opslag (tabel 5) mag niet verhullen dat hij, per definitie, niet de basis kan vormen van een beheerbeleid op lange termijn, omdat een dergelijke opslag slechts een periode van enkele honderden jaren bestrijkt. Dit alternatief werd door het FANC in 2010 in zijn advies over het Ontwerpplan en het SEA [FANC 2010] destijds onaanvaardbaar verklaard.

"Het bovengronds opslaan van hoogradioactief en/of langlevend afval (categorie B&C afval), hetzij in afwachting van de ontwikkeling van nieuwe technieken, hetzij eeuwigdurend, is onverantwoord gezien:

- a) Dit een permanente en langdurige belasting zou betekenen voor de toekomstige generaties;*
- b) Dit zou noodzaken dat de kennis terzake aanwezig blijft en de opleidingen daartoe blijvend georganiseerd worden;*
- c) Het potentiële risico op malafide praktijken hoger is dan voor andere opties (niet oppervlakte) gezien de bereikbaarheid van de materialen aan de oppervlakte;*
- d) Het volume radioactieve stoffen door herverpakking alleen maar zou toenemen en er dus steeds meer opslagcapaciteit dient beschikbaar gesteld te worden in functie van tijd;*
- e) Het feit dat hoe dan ook een definitieve oplossing dient gezocht te worden voor het ultiem radioactief afval, en waarbij het niet nemen vandaag van een beslissing voor dit type afval, zou neerkomen op het doorschuiven van de verantwoordelijkheid naar de toekomstige generaties.*

De eeuwigdurende opslag wordt bovendien internationaal niet als referentieoplossing beschouwd voor het langetermijnbeheer van dit type afval."

Op dezelfde wijze bepaalt considerans 21 van de richtlijn 2011/70/Euratom dat opslag geen alternatief is voor berging: *'Opslag van radioactief afval, inclusief opslag op lange termijn, is een tijdelijke oplossing die geen alternatief vormt voor berging.'*

Opteren voor langdurige opslag met de bedoeling zichzelf de tijd te geven om te profiteren van de mogelijke bijdrage van geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën is ook geen oplossing, al was het maar omdat deze technologieën, in de veronderstelling dat ze ooit op industriële schaal kunnen worden toegepast in het kader van de ontwikkeling van geavanceerde kernreactoren, de behoefte aan een geologische-bergingsoplossing niet wegnemen, zowel voor het reeds geproduceerde afval als voor het ultieme langlevende afval dat door deze geavanceerde reactoren en andere installaties van de geavanceerde nucleaire cycli zal worden geproduceerd (deel 4.2).

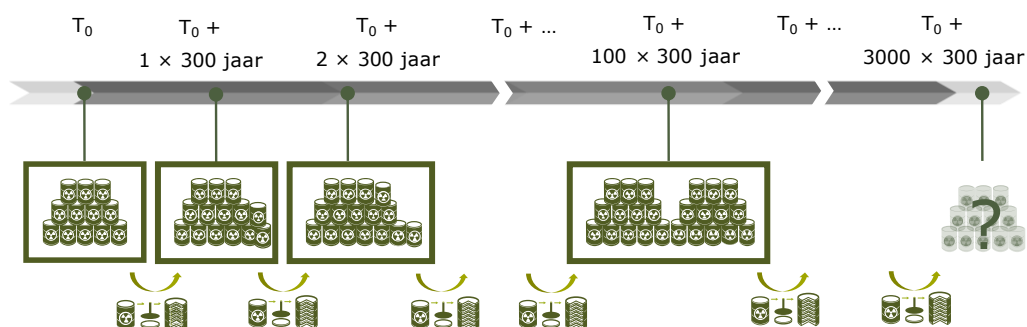
Tabel 5 – Synthese van de belangrijkste voor- en nadelen van langdurige opslag — die, volgens de richtlijn 2011/70/Euratom, geen alternatief vormt voor berging en niet ontvankelijk wordt geacht door het FANC.

Voordelen	Nadelen
Veiligheid en milieu	
kan worden gecontroleerd	- vereist - permanente controles en onderhoud - het opnieuw verpakken of conditioneren van het afval - en dus - leidt tot een geleidelijke toename van het afvalvolume - brengt een herhaald risico inzake operationele veiligheid met zich mee - is kwetsbaar - voor ontwikkelingen in de omgeving van de gebouwen - voor contextuele onzekerheden: risico's op verslechtering van de reglementaire opvolging, verdwijning van de exploitant, kenniserosie, uitdrijving van de financiering, oorlog enz.
Beveiliging	
	- vereist permanent toezicht - is kwetsbaar voor kwaadwillige handelingen
Wetenschap en techniek	
maakt het mogelijk rekening te houden met wetenschappelijke en technische ontwikkelingen	biedt een oplossing voor een periode die beperkt wordt door de technische mogelijkheden (a priori maximaal 300 jaar)
Ethiek en maatschappij	
laat de toekomstige generaties keuzevrijheid voor het beheer	- schuift de lasten integraal door naar de volgende generaties: - controles, onderhoud en toezicht - overdracht van kennis en knowhow - ontwikkeling, uitvoering en financiering van een langetermijnbeheer-oplossing
Economie en financiën	
kan makkelijk worden gefinancierd volgens het beginsel 'de vervuiler betaalt'	vereist nadien de financiering van een niet-gekende oplossing voor het langetermijnbeheer
Terugnemen van het afval	
is altijd mogelijk	

4.1.2 Eeuwigdurende opslag

Eeuwigdurende opslag wordt gezien als de herhaalde langdurige opslag en herverpakking of herconditionering van het afval over honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar (figuur 11). Eeuwigdurende opslag impliceert het ontwerp en de bouw van opslaginstallaties (bovengronds of tot een diepte van enkele tientallen meters) die mens en milieu gedurende periodes van in principe 100 tot 300 jaar kunnen beschermen, met periodieke controles en onderhoud en mits regelmatig nazicht van de integriteit van de afvalcolli die ze bevatten. Zelfs opslaginstallaties die met behulp van de beste civieltechnische technieken werden gebouwd, kunnen niet veel langer intact blijven. Om mens en milieu blijvend te kunnen beschermen, moeten er dus regelmatig nieuwe opslaginstallaties worden gebouwd wanneer de oude installaties niet langer voldoen en moet het afval eventueel herverpakt of geherconditioneerd worden vooraleer het naar deze nieuwe installaties wordt overgebracht. Hierdoor neemt de totale hoeveelheid op te slaan afval geleidelijk toe. De afvalconditioneringsmatrix en de container waarin die matrix wordt geplaatst, vormen immers de eerste barrières voor de insluiting van de radionucliden en chemische contaminanten en moeten daarom worden vernieuwd wanneer ze niet langer voldoen aan de veiligheidsvereisten. De opslagsite moet bovendien ook worden gecontroleerd en onderhouden en moet onder toezicht blijven staan.

De bescherming van mens en milieu in geval van eeuwigdurende opslag berust dus permanent op menselijke acties: met andere woorden, een oplossing van eeuwigdurende opslag verzekert de veiligheid niet op passieve wijze en voldoet dus niet aan het derde beginsel van de richtlijn 2011/70/Euratom waaraan de nationale beleidsmaatregelen moeten voldoen (kader 1 in deel 1.1). Eeuwigdurende opslag is bovendien niet ontvankelijk voor het FANC, aangezien langdurige opslag al niet ontvankelijk is [FANC 2010]. De belangrijkste voor- en nadelen ervan worden niettemin samengevat in tabel 6.



Figuur 11 – Vereenvoudigd tijdschema van eeuwigdurende opslag. De opeenvolging bouw-exploitatie-ontmanteling, in combinatie met de herverpakking/herconditionering van het afval, zou over een periode van honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar, herhaald moeten worden.

Tabel 6 – Synthese van de belangrijkste voor- en nadelen van eeuwigdurende opslag — die niet voldoet aan de richtlijn 2011/70/Euratom en niet ontvankelijk wordt geacht door het FANC.

Voordelen	Nadelen
Veiligheid en milieu zoals langdurige opslag	zoals langdurige opslag + vereist de periodieke vervanging van gebouwen
Beveiliging	zoals langdurige opslag
Wetenschap en techniek zoals langdurige opslag	
Ethiek en maatschappij	- schuift de lasten integraal door naar de toekomstige generaties, gedurende honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar: - controles, onderhoud en toezicht - overdracht van kennis en knowhow - periodieke bouw van nieuwe gebouwen - investeringen zonder einde
Economie en financiën	heeft een permanente en stijgende kostprijs, die onmogelijk te berekenen is en dus niet kan worden gedekt volgens het beginsel 'de vervuiler betaalt'
Terugnemen van het afval zoals langdurige opslag	

4.1.3 In berging omzetbare opslag

Opslag die kan worden omgezet in berging zou erin bestaan het afval op te slaan in een installatie die ontworpen, gebouwd en geëxploiteerd wordt met de bedoeling het afval terug te nemen en ze op een bepaald ogenblik om te vormen tot een installatie die, zonder herhaaldelijk menselijk ingrijpen, de bescherming van mens en milieu kan waarborgen zolang het afval een risico inhoudt (zie definities en principes van kader 1 in deel 1.1).

Een dergelijke oplossing vormt een tegenstrijdigheid in termen van regelgeving, principes, ontwerp en uitvoering. Het zijn immers de eisen met betrekking tot het waarborgen van de langetermijnveiligheid die bepalend zouden zijn voor het ontwerp van de installatie: het is niet mogelijk om een installatie die in de diepte is gebouwd, die voor enkele tientallen of honderden jaren moet dienstdoen en zo ontworpen is dat het afval er op elk moment kan worden uitgehaald, om te vormen tot een installatie die integraal deel uitmaakt van een bergings-systeem dat, zolang als nodig is, de radionucliden en chemische contaminanten kan insluiten en afzonderen van de biosfeer. Dit geval wordt niet onderzocht in het buitenland. Reglementair is dit ook niet bepaald: het zou onmogelijk zijn om het veiligheidsdossier dat nodig is om de bergingsvergunning te verkrijgen, op te stellen op de bases die gelden voor een opslag-installatie.

De enige manier om opslag om te zetten in berging zou erin bestaan om vanaf het begin een bergingssysteem te ontwerpen waarin het afval gedurende een bepaalde periode kan worden teruggenomen, zonder dat de keuzes die worden gemaakt om het terugnemen mogelijk te maken, nadelig zijn voor de veiligheid en beveiliging. *Het zou dus niet gaan om het ombouwen van een opslaginstallatie, maar wel, van meet af aan, om het bouwen van een bergings-installatie.*

4.2 Geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën

De geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën worden momenteel onderzocht, voornamelijk in het kader van de ontwikkeling van geavanceerde kernreactoren (generatie IV-reactoren en versneller-aangedreven systemen). Ze zijn vooral gericht op een efficiënter gebruik van natuurlijke hulpbronnen (voornamelijk uraniumerts), door het recyclen van de verbruikte splijtstof, en zouden aldus het volume en de radiotoxiciteit van het hoogactieve afval en zijn thermisch vermogen moeten kunnen verminderen en zo de voetafdruk van geologische bergingsoplossingen kleiner maken. Ze zouden dus in theorie kunnen helpen om dergelijke oplossingen te optimaliseren.

Terwijl de verbruikte splijtstof in de huidige nucleaire cycli (reactoren van de tweede generatie en reactoren van de derde generatie (in aanbouw)) één keer kan worden gerecycleerd (het bij de opwerking verkregen uranium en plutonium wordt omgezet in MOX-splijtstof), zou de verbruikte splijtstof in de toekomstige geavanceerde nucleaire cycli, die de geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën omvatten, herhaaldelijk gerecycleerd worden tijdens verschillende *scheidings- en transmutatiecycli*. In dergelijke cycli worden geselecteerde radionucliden tijdens de opwerking *gescheiden* van de rest van de verbruikte splijtstof en vervolgens geïntegreerd in splijtstof voor geavanceerde kernreactoren. De bestraling van deze geavanceerde splijtstof in dit type reactor leidt vervolgens tot de *transmutatie* van een deel van de radionucliden, dat wil zeggen dat ze worden omgezet in elementen met een kortere levensduur. Na bestraling wordt de 'geavanceerde' verbruikte splijtstof aan een nieuwe cyclus onderworpen.

Geavanceerde nucleaire cycli vereisen, naast reactoren van de vierde generatie en/of specifieke transmutatie-installaties (die geen energie produceren), ook installaties voor doorgedreven opwerking en installaties voor de fabricage van splijtstof. Er zullen nog enkele decennia nodig zijn voordat de eerste reactoren van de vierde generatie gecommercialiseerd worden [NNL 2013; SGN 2013]. Frankrijk, bijvoorbeeld, overweegt ze enkel om zijn reactoren van de derde

generatie te vervangen, waarvan de eerste nog niet operationeel is, dus pas over minstens een halve eeuw [CNE 2019]. Alle voorgestelde geavanceerde splijtstofcyclussystemen zijn gebaseerd op de veronderstelling dat de kernenergieprogramma's decennia- of zelfs eeuwenlang zullen worden voortgezet [NEA 2012; SGDN 2013; IRSN 2019a].

Volgens de internationale consensus zijn geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën, als ze al op industriële schaal kunnen worden toegepast, geen alternatief voor geologische berging voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. Het zijn immers technologieën voor het *recycleren* van verbruikte splijtstof en niet voor het beheer van afval op lange termijn [NEA 2011, 2012; Blue Ribbon Commission 2012; SGDN 2013; ASN 2016; FOD Economie 2016a]. Ze zijn niet van toepassing op afval dat al geconditioneerd is en, zowel om technische als om economische redenen, op langlevende splijtingsproducten en activeringsproducten die zich in de verbruikte splijtstof bevinden. Enkel transmutatie van de actiniden die in verbruikte splijtstof aanwezig zijn, bijvoorbeeld americium en neptunium, kan op industriële schaal worden overwogen [ASN 2016; CNE 2019; IRSN 2019a, 2019b]. De transmutatie van bepaalde langlevende radionucliden zou de voetafdruk van een toekomstige bergingsinstallatie bovendien enkel tastbaar verkleinen indien een park van geavanceerde kernreactoren minstens een eeuw lang geëxploiteerd zou worden [CEA 2015; ASN 2016].

De toepassing van geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën zal ook nieuwe hoogactieve en/of langlevende afvalstromen produceren: ultiem afval dat voortkomt uit de exploitatie en ontmanteling van geavanceerde reactoren en/of van de transmutatie-installaties zelf, installaties voor doorgedreven opwerking en installaties voor de fabricage van splijtstof [NEA 2012; Blue Ribbon Commission 2012].

Volgens het FANC [FANC 2010], ten slotte, kan de ontwikkeling van geavanceerde nucleaire technologieën de keuze voor langdurige opslag voor het beheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval niet rechtvaardigen (deel 4.1.1).

4.3 Alternatieven die in strijd zijn met de regelgeving en/of onbeheersbare risico's inhouden

Verschillende alternatieven voor geologische berging die soms worden voorgesteld, moeten zonder meer worden afgewezen. Naast het feit dat deze alternatieven niet in overeenstemming zijn met door België ondertekende internationale verdragen **(I)** en/of met het wettelijke en reglementaire Belgische kader **(B)**, bieden ze onvoldoende garanties op het vlak van veiligheid en milieubescherming **(V)**. Alleen al de 'eenvoudige' beginfase van de uitvoering van een aantal van deze alternatieven — met name het afval de ruimte insturen — brengt aanzienlijke risico's met zich mee. Andere kunnen ongetwijfeld ongunstig evolueren, op een manier die niet door wetenschap en techniek kan worden beheerst, zoals de mogelijke terugkeer van afval uit oceanische subductiezones naar het oppervlak, als gevolg van vulkaanuitbarsting. Ten slotte is het onmogelijk om voor alle alternatieven de nodige kennis en methodes te ontwikkelen (diepgaande karakterisering, evolutiescenario's, wiskundige modellen enz.), om op overtuigende wijze aan te tonen dat ze zodanig kunnen worden toegepast dat ze mens en milieu in alle omstandigheden en zolang als nodig tegen de risico's van het afval zullen beschermen.

Onder deze alternatieven, die door verschillende landen zijn onderzocht, is in het verleden enkel, en in beperkte mate, berging via directe injectie van vloeibaar radioactief afval toegepast. Onder de beheerders van radioactief afval en de veiligheidsautoriteiten, zowel op nationaal als op internationaal vlak, en binnen de internationale organisaties bestaat er ruime eensgezindheid over het feit dat ze ongeschikt zijn voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval [bijvoorbeeld CoRWM 2018; IRSN 2019a].

De alternatieven die onmiddellijk moeten worden verworpen omdat ze in strijd zijn met de regelgeving en/of onbeheersbare risico's met zich meebrengen, worden hieronder kort beschreven, met telkens een verwijzing naar de belangrijkste wettekst(en) volgens welke ze geëlimineerd werden.

I/V Bij *zeeberging* worden de colli met radioactief afval in zee gedumpt, waar ze naar de bodem zinken.

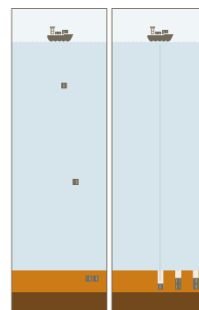
Het Verdrag van Londen van 1972, of *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter*, dat door België werd bekrachtigd in 1985, heeft tot doel het mariene milieu te beschermen en verbodt met name de zeeberging van hoogactief afval [Verdrag van Londen 1972]. Sinds 1993 verbiedt het de zeeberging van al het radioactieve afval.

Het OSPAR-verdrag van 1992, of *Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*, dat door België werd ondertekend in 1992 en goedgekeurd in 1995, heeft tot doel het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan te beschermen en verbiedt de zeeberging van radioactief afval [OSPAR-verdrag 1992].



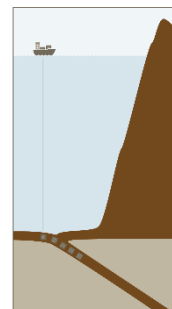
I/V De *berging in de zeebodem* bestaat erin de colli met radioactief afval onder te brengen in sedimenten op de zeebodem. Ofwel zakken de colli door hun vorm uit zichzelf een paar meter in de sedimenten, ofwel worden ze in boorgaten op geringe diepte geplaatst.

Berging in de zeebodem is, net als zeeberging, verboden.



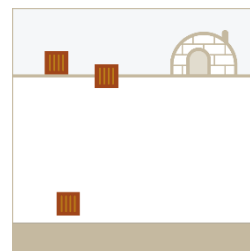
I/V Bij *berging in een oceanische subductiezone* worden de colli met radioactief afval op de dalende tektonische plaat van een oceanische subductiezone geplaatst, opdat ze diep in de aardkorst zouden terechtkomen. Het is een variant op zeeberging en berging in de zeebodem.

Berging in een oceanische subductiezone is, net als zeeberging, verboden.



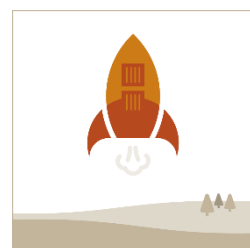
I/V Bij *berging in een ijskap* — enkel te overwegen voor radioactief afval dat warmte afgeeft — zakken de afvalcolli in een ijskap geleidelijk naar beneden doordat het ijs smelt als gevolg van de warmte die ze afgeven. Daarna vormt er zich geleidelijk nieuw ijs bovenaan.

Het *Verdrag inzake Antarctica* van 1959, dat door België werd ondertekend in 1959 en bekrachtigd in 1960, verbiedt de berging van radioactief afval in Antarctica [Verdrag inzake Antarctica 1959]. Voorts mag een contracterende partij, volgens artikel 27.2 van het *Gezamenlijk Verdrag* [IAEA 1997], dat door België werd ondertekend in 1997 en bekrachtigd in 2002, niet toestaan dat haar verbruikte splijtstof of radioactieve afval voor opslag of berging naar een bestemming ten zuiden van 60 graden zuiderbreedte wordt gestuurd.



I/V *Berging in de ruimte* impliceert dat geconditioneerd radioactief afval naar de ruimte wordt gestuurd, bijvoorbeeld met een raket, zodat het in een baan rond de aarde terechtkomt of zelfs het zwaartekrachtsveld van de aarde verlaat.

Hoewel het de berging in de ruimte niet absoluut verbiedt, maakt het Ruimteverdrag van 1967, of *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies* [Ruimteverdrag 1967], dat vrijwel onmogelijk, omdat het de staat die voorwerpen in de ruimte lanceert, aansprakelijk maakt voor mogelijk kolossale schade, die er voor de verdragsluitende staten zou kunnen uit voortkomen. Dit verdrag, dat werd aangenomen om tegemoet te komen aan de bezorgdheid over de wapenwedloop, werd in 1967 door België ondertekend en in 1973 bekrachtigd.



B/V Bij *berging door fusie van de geologische gastformatie* — enkel te overwegen voor radioactief afval dat veel warmte afgeeft — wordt afval in een gastformatie in vloeibare of slibvorm geïnjecteerd of wordt geconditioneerd afval in vaste vorm in boorgaten gestopt. In beide gevallen wordt de formatie rond het afval vloeibaar door de warmte, zodat het afval er nog dieper in kan doordringen als gevolg van de zwaartekracht. Zodra het afval terug afgekoeld is, wordt de omringende formatie opnieuw vast en vormt ze een natuurlijk omhulsel voor het afval.

Artikel 34.1 van het *algemeen reglement op stralingsbescherming* [België 2001] verbiedt de lozing van vloeibaar radioactief afval in de ondergrond, en dus de eerste variant van berging door fusie van de gastformatie. De variant van berging door fusie van de gastformatie die erin bestaat geconditioneerd afval in boorgaten te plaatsen, lijkt niet expliciet verboden te zijn door het juridische kader, maar zou, in de veronderstelling dat hij ooit technisch haalbaar is, onbeheersbare risico's met zich meebrengen.

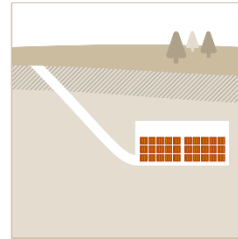


B/V Bij *berging via directe injectie* — enkel te overwegen voor radioactief afval in vloeibare vorm — wordt het afval in een diepe geologische gastformatie geïnjecteerd.

Artikel 34.1 van het *algemeen reglement op stralingsbescherming* verbiedt de lozing van vloeibaar radioactief afval in de ondergrond, en dus de berging via directe injectie.



I/V Bij *oppervlakteberging of berging op geringe diepte* worden de colli met radioactief afval in een speciaal daartoe ontworpen installatie geplaatst die aan de oppervlakte of tot een dertigtal meters diep wordt gebouwd [IAEA 2009]. Een dergelijke installatie bestaat gewoonlijk uit betonnen modules voor de colli met radioactief afval. Deze modules zijn via een weinig waterdoorlatend beschermingssysteem beschermd tegen regenwater en doorsijpeling en/of, naargelang van de opstelling, tegen grondwater.



Er bestaat een internationale consensus dat oppervlakteberging of berging op geringe diepte van geconditioneerd hoogactief afval, of afval van categorie C, en van geconditioneerd langlevend afval van categorie B de veiligheid op lange termijn niet kan garanderen [bijvoorbeeld IAEA 2009].

5 Link van het Plan met andere relevante plannen en programma's of relevante beleidsmaatregelen

De plannen, programma's of beleidsmaatregelen die op federaal niveau van kracht zijn en verband houden met het Plan en *die in dit stadium in aanmerking worden genomen*, zijn de plannen, programma's of beleidsmaatregelen die rechtstreeks betrekking hebben op of rechtstreeks verband houden met het langetermijnbeheer van radioactief afval of de productie ervan. Het gaat meer bepaald om de volgende plannen, programma's en maatregelen:

- *het nationale programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval* [FOD Economie 2016b], opgesteld overeenkomstig de wet van 3 juni 2014. Dit programma bepaalt de uitvoering van de nationale beleidsmaatregelen voor het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval. De ontbrekende beleidsmaatregelen, met inbegrip van de maatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, worden erin geïdentificeerd.
- *het programma voor de oppervlakteberging van het geconditioneerde laag- en middel-actieve kortlevende afval, of afval van categorie A, van NIRAS* [NIRAS 2010, 2019a]. Bij besluit van de federale regering van 16 januari 1998 en 23 juni 2006 [Ministerraad 1998, 2006] is dit afval bestemd voor berging in een oppervlaktebergingsinstallatie op het grondgebied van de gemeente Dessel. Het programma voor de berging van afval van categorie A is gelinkt aan het Plan in die zin dat de toekomstige nucleaire vergunning voor de oprichting en exploitatie van de bergingsinstallatie, die momenteel door het FANC wordt onderzocht, om fysisch-chemische redenen, waarschijnlijk geen toestemming zal geven voor de oppervlakteberging van bepaalde soorten afval die NIRAS voor deze installatie heeft bestemd. Dit afval zal in de referentie-inventaris van het Plan worden opgenomen nadat het, als het dat nog niet was, verenigbaar is gemaakt met geologische berging.
- *de wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie* [België 2003], zoals in het bijzonder gewijzigd door de wetten van 18 december 2013 en 28 juni 2015. De wet van 2003 zoals gewijzigd verbiedt de bouw van nieuwe centrales en sluit voortaan de mogelijkheid uit om de exploitatie van bestaande kerncentrales indien nodig te verlengen. Het bestaande en toekomstige exploitatieafval (waaronder de verbruikte splijtstof die als afval wordt aangegeven en/of het opwerkingsafval) en het toekomstige ontmantelingsafval van de categorieën B en C worden in de referentie-inventaris opgenomen. Zelfs als de exploitatieduur van sommige centrales verder zou worden verlengd, zouden het extra geproduceerde radioactieve afval en de verlenging in de tijd van deze productie de geologische-bergingsoplossing en de algemene aanpak voor de milieueffectenbeoordeling niet in vraag stellen.

Er zouden nog linken (en mogelijk conflicten) kunnen ontstaan met andere plannen, programma's of beleidsmaatregelen op internationaal, Europees, federaal of gewestelijk niveau in de volgende fasen van de beoordeling van de milieueffecten van geologische berging (keuze van de locatie van uitvoering, keuze van een welomschreven technisch project enz.). Het is nog te vroeg om de linken nu al te analyseren, bijvoorbeeld met plannen die het gebruik van de ruimte in de gewesten regelen, zoals de gewestelijke plannen in het Waalse Gewest en de ruimtelijke uitvoeringsplannen in het Vlaamse Gewest, alsook met plannen of programma's inzake waterbeheer en gebruik van de ondergrond. Van geen enkele van die plannen, programma's of beleidsmaatregelen wordt echter verwacht dat ze een invloed kunnen hebben op de beslissing om al dan niet te kiezen voor geologische berging als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval.

Ten slotte heeft het gebrek aan zekerheid over de toekomst van de verbruikte splijtstof van commerciële kernreactoren (opheffing van het feitelijke moratorium van 1993 op de opwerking of rechtstreekse berging) gevolgen voor de inventaris van het te beheren afval (deel 2.4), maar niet voor de bergingsoplossing die het voorwerp is van het Plan.

6 Inhoud van het SEA

In dit hoofdstuk worden de soorten milieueffecten geïdentificeerd waarvan de beoordeling aan het einde van de *scoping*-procedure relevant werd geacht, rekening houdend met het conceptuele en generieke karakter van het Plan (deel 6.1.2). Aangezien het Plan deel uitmaakt van een hiërarchisch opgebouwd geheel van plannen, zal deze eerste — verkennende en hoofdzakelijk beschrijvende — beoordeling worden gevolgd door andere, meer specifieke en gedetailleerde milieueffectenbeoordelingen op andere niveaus van het hiërarchisch opgebouwde geheel. Duidelijkheidshalve worden in dit hoofdstuk ook de effecten opgesomd die in latere stadia van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling zullen worden beoordeeld of opnieuw bestudeerd (deel 6.1.1). Ten slotte verantwoordt het de huidige onmogelijkheid om beoordelingen van de grensoverschrijdende effecten uit te voeren (deel 6.2).

6.1 Overzicht van de screening- en *scoping*-procedures en resultaat

De *scoping* is de eerste fase in het opstellen van een strategische milieueffectenbeoordeling voor een plan. Het doel ervan is de reikwijdte en nauwkeurigheid van deze beoordeling af te bakenen.

Gezien het conceptuele en generieke karakter van het Plan heeft NIRAS de milieueffecten geïdentificeerd die in het SEA moeten worden beoordeeld door — op een vereenvoudigde manier — de *scoping*-procedure toe te passen die door de FOD Volksgezondheid is vastgesteld [FOD Volksgezondheid 2007c, 2007d] (deel 6.1.2). De *scoping* werd zelf gevoed door de resultaten van de *screening*procedure, die eveneens is vastgesteld door de FOD Volksgezondheid [FOD Volksgezondheid 2007a, 2007b] (deel 6.1.1).

Overeenkomstig de wet van 13 februari 2006 heeft NIRAS het *scoping*-rapport, of *ontwerp-register*, van het Plan ter advies voorgelegd aan het Adviescomité SEA. In zijn advies (bijlage 3) beveelt het comité aan enkele aanpassingen aan te brengen in het ontwerpregister. In dit deel wordt rekening gehouden met de aanpassingen in verband met de screening- en *scoping*-procedures.

6.1.1 Screening

Bij de screening werden de mogelijke milieueffecten van de activiteiten in het kader van het Plan bepaald en werd nagegaan of het onderzoek ervan in het kader van het SEA relevant is. Naast de relevante effecten en de effecten waarvan de relevantie onbekend is, maakte NIRAS een onderscheid tussen de effecten waarvan zij nu al weet, of waarvan zij bijna zeker is, dat ze nooit beoordeeld zullen moeten worden en de effecten die in een later stadium van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling moeten worden beoordeeld. Er werden ook vier effecten toegevoegd: 'Aanrijking ondergrond' en, om rekening te houden met de opwarming als gevolg van de aanwezigheid van geconditioneerd hoogactief afval, 'Wijziging grondwatertemperatuur', 'Wijziging bodemtemperatuur' en 'Wijziging ondergrondtemperatuur'.

Gezien het conceptuele en generieke karakter van het Plan,

- waarvan het beoordelingsgebied het gehele Belgische grondgebied bestrijkt
- en waarvoor NIRAS
 - noch de precieze inventaris van het *uiteindelijk* betrokken afval,
 - noch het uit te voeren technische project,
 - noch, a fortiori, de uitvoeringsmodaliteiten kent,

heeft NIRAS het *in dit stadium* niet relevant geacht om de volgende milieueffecten te beoordelen:

- *de milieueffecten die in de procedure afhankelijk worden geacht van de locatie van uitvoering, namelijk*
 - ▶ de wijziging van landschap / zeegezicht;
 - ▶ de fysieke aantasting van monumenten, stads- en dorpsgezichten, scheepswrakken, ...;
 - ▶ de visuele aantasting van monumenten, stads- en dorpsgezichten, ... (inclusief contextverlies);
 - ▶ de impact op de biodiversiteit (verlies aan soorten [tussen en onder soorten], verlies van oppervlakte, versnippering);
- *meer in het algemeen, milieueffecten die worden verwacht van een geologische-bergingsproject, maar die er niet eigen aan zijn; deze effecten zijn vergelijkbaar met de effecten van een industrieel project van het type 'verwerking en conditionering van radioactief afval', waarvan de uitvoering deels zal afhangen van de toegepaste technologieën, namelijk*
 - ▶ de aantasting van archeologische waarden;
 - ▶ de impact op de lucht;
 - ▶ de impact op de mens als gevolg van visuele, geluids- en geuroverlast, stof enz.;
 - ▶ de impact op menselijke activiteiten;
 - ▶ de impact op de biodiversiteit als gevolg van genetische effecten, effecten op soorten en ecosystemen;
- *drie effecten op de bodem, namelijk*
 - ▶ de wijziging van de bodem qua gevoeligheid voor erosie;
 - ▶ de wijziging van de bodem qua gevoeligheid voor verdroging;
 - ▶ de wijziging van het bodemwaterregime.

Daarnaast werden de effecten waarvan NIRAS weet of vrijwel zeker is dat ze nooit beoordeeld zullen moeten worden, als volgt geïdentificeerd:

- *voor de impact op het oppervlaktewater (zoet water en marien milieu):*
 - ▶ de wijziging van de hydraulische eigenschappen van waterlopen (helling, ruwheid, sectie);
 - ▶ de wijziging van de stroomsnelheid en -richting van het oppervlaktewater (zoet water en marien milieu);
 - ▶ de wijziging van het debiet van het oppervlaktewater;
 - ▶ de wijziging van het getijdenregime (symmetrie, getijslag, snelheid);
 - ▶ de wijziging van het zoutregime (gehalte, fluctuatie) van het oppervlaktewater (zoet water en marien milieu);
 - ▶ de wijziging van de sedimentatie- en erosieregime van het oppervlaktewater (zoet water en marien milieu);
 - ▶ de wijziging van het overstromingsregime (zoet water en marien milieu);
 - ▶ de wijziging van het zelfreinigende vermogen van het oppervlaktewater (zoet water en marien milieu);
 - ▶ de aanrijking van de waterbodem (inclusief zeebodem);
 - ▶ de wijziging van de waterbodemtextuur (inclusief zeebodem);
- *voor de impact op het grondwater:*
 - ▶ het uitputten van de grondwatervoorraden;
 - ▶ de verzilting van het grondwater;
- *voor de impact op het klimaat:*
 - ▶ de klimaatverandering;
- *voor de impact op de bodem:*
 - ▶ de verzilting van de bodem.

De effecten waarvan de beoordeling in dit stadium niet relevant wordt beschouwd, zullen in latere stadia worden beoordeeld naarmate de nationale beleidsmaatregelen voor het lange-termijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval meer precies worden

vastgelegd en bij de vergunningsaanvragen. Het (bijna) zeker irrelevante karakter van sommige effecten, ongeacht het evaluatiestadium, zal ook later telkens worden geverifieerd.

Als logisch gevolg daarvan werden de volgende effecten dus aan het einde van de screening-procedure als relevant beschouwd:

- effecten op het oppervlaktewater;
- effecten op het grondwater;
- effecten op de bodem;
- effecten op de ondergrond;
- het effect op de menselijke gezondheid;
- het algemene effect op de biodiversiteit, in dit stadium geïnterpreteerd als algemeen effect op fauna en flora.

6.1.2 Scoping

Aangezien het Plan gekenmerkt wordt door een uitzonderlijk lange tijdsperiode, omdat het afval enkele honderdduizenden jaren, of zelfs gedurende een periode van ongeveer een miljoen jaar, afgezonderd moet worden van mens en milieu, rijst de vraag van het tijdsvenster waarvoor de milieueffecten moeten worden beoordeeld.

Omdat de aard en de omvang van de milieueffecten van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten mettertijd zullen evolueren, heeft NIRAS ervoor gekozen om een onderscheid te maken tussen de effecten 'vóór de sluiting' van de bergingsinstallatie en de effecten 'na de sluiting' ervan en ze afzonderlijk te beoordelen. De begrippen 'periode vóór de sluiting' en 'periode na de sluiting' worden als volgt beschreven.

- De *periode vóór de sluiting* is de periode vanaf het verkrijgen van de nucleaire oprichtings- en exploitatievergunning voor de geologische-bergingsinstallatie, zoals gedefinieerd in het algemeen reglement op stralingsbescherming [België 2001], tot de volledige sluiting van de ondergrondse installatie en de gedeeltelijke of volledige afbraak van de bovengrondse installaties. Het is in deze periode dat er menselijke activiteiten plaatsvinden die milieueffecten kunnen veroorzaken, zoals de voorbereiding van de bergingssite, de bouw, de exploitatie, de sluiting van de bergingszones, de sluiting van de toegangen, en de afbraak van de bovengrondse installaties. De duur van de periode vóór de sluiting bedraagt een honderdtal jaren, onder meer afhankelijk van de vraag of de toekomstige generaties ervoor zullen kiezen de ondergrondse installatie onmiddellijk na het einde van de exploitatie ervan al dan niet *volledig* te sluiten. De volledige sluiting kan immers worden uitgesteld, bijvoorbeeld om het gedrag van het systeem nauwlettend te monitoren. Een uitgestelde sluiting mag de veiligheid en de beveiliging echter niet in gevaar brengen.
- De *periode na de sluiting* begint vanaf de volledige sluiting van de ondergrondse installatie en de gedeeltelijke of volledige afbraak van de bovengrondse installaties. Ze komt overeen met de periode waarin de veiligheid van het bergingssysteem passief wordt verzekerd door het systeem zelf (kunstmatige en natuurlijke barrières). De enige verwachte effecten zijn dan ook die welke voortvloeien uit de natuurlijke evolutie ervan.

Vermits NIRAS de gastformatie, de plaats waar het Plan zal worden uitgevoerd, het uit te voeren technische project en, a fortiori, de uitvoeringsmodaliteiten niet kent, is de *scoping* van de milieueffecten uit de screening sterk vereenvoudigd ten opzichte van wat in de *scoping*-procedure staat. De milieueffecten werden alleen bestudeerd aan de hand van de volgende vier elementen:

- de kans dat het effect zich daadwerkelijk voordoet;
- de grootte van de veranderingen die zich zullen voordoen;
- het grensoverschrijdende karakter van het milieueffect;
- de grootte van het gebied waarover het effect zich uitstrekt.

Het onderzoek van de andere aspecten werd inderdaad te speculatief geacht en zou in ieder geval weinig veranderen aan het totaalbeeld dat uit het onderzoek van de vier geselecteerde elementen naar voren komt.

Bovendien werd de *scoping* niet tot de laatste fase van de *scoping in/out* uitgevoerd, die bedoeld is om precies vast te stellen welke effecten in het SEA moeten worden beoordeeld. Het is immers nog niet mogelijk om op afdoende wijze het onderscheid te maken tussen bepaalde effecten op het oppervlakte- en grondwater en effecten op de bodem en de ondergrond. In plaats van lijsten van in het SEA te beoordelen effecten op te leveren, biedt daarom de *scoping* voor de periode vóór de sluiting en voor de periode na de sluiting vooral *families van effecten die moeten worden beoordeeld*.

De families van milieueffecten die aan het einde van de *scoping* werden vastgesteld, komen overeen met de thema's biodiversiteit, menselijke gezondheid, fauna, flora, bodem en water van de wet van 13 februari 2006, bijlage II, 6°. Later zullen meer specifieke en meer gedetailleerde milieueffectenbeoordelingen worden uitgevoerd wanneer het wettelijke en reglementaire kader dat vereist, met name voor de keuze van de locatie van uitvoering en voor de vergunningsaanvragen voor het technische project waarvan uiteindelijk de uitvoering zal worden voorgesteld. Tijdens die beoordelingen zullen ook de thema's bevolking, lucht, materiële goederen, cultureel erfgoed, met inbegrip van bouwkundig en archeologisch erfgoed, en landschap aan bod komen, en zal het niet-relevante karakter van een beoordeling van de effecten op het klimaat worden geverifieerd. Uiteindelijk zullen op die manier alle relevante milieueffecten van het Plan, zoals dat concreet vorm krijgt in een specifiek project, uitvoerig beoordeeld zijn.

6.1.2.1 Resultaten voor de periode vóór de sluiting

De milieueffecten waarvan aan het eind van de *scoping* werd vastgesteld dat ze voor de periode vóór de sluiting moeten worden beoordeeld, zijn

- de familie van oppervlaktewatereffecten,
 - de familie van grondwatereffecten,
 - de familie van bodemeffecten,
 - de aanrijking van de ondergrond,
 - de wijziging van de ondergrondtemperatuur,
 - het effect op de menselijke gezondheid,
 - het algemene effect op de biodiversiteit, met andere woorden op fauna en flora,
- waarbij de families van water- en bodemeffecten worden onderverdeeld in meerdere zeer specifieke effecten, waarvoor in dit stadium moeilijk te onderscheiden is welke effecten uiteindelijk relevant zullen zijn en welke niet.

De milieueffecten van de activiteiten voor het weer in onbebouwde of minder bebouwde staat brengen van de site bovengronds zullen, voor zover mogelijk, in latere stadia van de vaststelling van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval worden beoordeeld. Immers,

- de beslissingen om de site bovengronds weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat te brengen, worden volledig bepaald door de toekomstige generaties;
- de milieueffecten van de activiteiten die nodig zijn om de site bovengronds weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat te brengen, zouden worden gecompenseerd door de milieuvoordelen van een dergelijke herstelling.

6.1.2.2 Resultaten voor de periode na de sluiting

De milieueffecten waarvan aan het eind van de *scoping* werd vastgesteld dat ze voor de periode na de sluiting moeten worden beoordeeld, zijn

- de familie van grondwatereffecten,
- de familie van bodemeffecten,
- de familie van effecten op de ondergrond,
- het effect op de menselijke gezondheid,

waarbij volgens de *scoping* de volgende zeven effecten zouden moeten worden beoordeeld:

- de *aanrijking van het grondwater* met eutrofiërende, zuurstofvragende, radioactieve of andere humaan- of ecotoxische stoffen of pathogenen;
- de *wijziging van de grondwatertemperatuur*;
- de *aanrijking van de bodem* vanwege de wijziging van het gehalte aan plantenvoedende, humaan- of ecotoxische stoffen in de bodem of de wijziging van de zuurtegraad;
- de *wijziging van de bodemtemperatuur*;
- de *aanrijking van de ondergrond*;
- de *wijziging van de ondergrondtemperatuur*;
- het *impact op de menselijke gezondheid*, door bijvoorbeeld chronische blootstelling aan toxische stoffen (door rechtstreekse blootstelling, inhalatie, consumptie via water of voedsel, ...).

6.2 Geen beoordelingen mogelijk van de grensoverschrijdende effecten

Aangezien de beoordelingen van de milieueffecten van geologische berging verkennend, voornamelijk beschrijvend en niet plaatsgebonden zijn, is het in dit stadium niet mogelijk om de grensoverschrijdende effecten van het Plan te beoordelen. *Gelet op de aard en het doel van een systeem van geologische berging*, namelijk het insluiten en afzonderen van de radioactieve stoffen voor zolang als nodig is, *zijn de verwachte milieueffecten na de volledige sluiting hoofdzakelijk lokaal en gering*. De grensoverschrijdende milieueffecten vóór en na de sluiting zullen in latere stadia worden beoordeeld. De radiologische effecten van een bergingssysteem voor de periode na de sluiting zullen in het bijzonder worden beoordeeld in het kader van het veiligheidsdossier voor de bergingsinstallatie die op de geselecteerde locatie moet worden gebouwd.

Het Adviescomité SEA heeft het standpunt van NIRAS in zijn advies over het ontwerpregister bevestigd [Adviescomité SEA 2019] (bijlage 3).

Niettemin heeft NIRAS, bovenop de wettelijke verplichtingen

- na ontvangst van het advies van het Adviescomité SEA op het ontwerpregister, en zoals voorgesteld in het ontwerpregister, de officiële SEA-vertegenwoordigers van de lidstaten van de Europese Unie ingelicht over de aard van het Plan en van het SEA;
- het Plan en het SEA op haar website in het Nederlands, het Frans en het Duits bekendgemaakt.

7 Referentiesituatie en verwachte evolutie als het Plan niet wordt uitgevoerd

Bij gebrek aan een beschrijving van *de relevante aspecten van de bestaande situatie van het milieu* (wet van 13 februari 2006, bijlage II, 2°) in de — nog onbekende — zone waarop het Plan betrekking heeft, beschouwt het SEA de huidige situatie van tijdelijke bovengrondse opslag als referentiesituatie¹¹ (deel 7.1). Het schetst de grote lijnen van de evolutie van deze situatie, inclusief die van de mogelijke impact ervan op het milieu, indien het Plan niet wordt uitgevoerd en de milieuproblematiek van het afval op lange termijn dus niet definitief wordt opgelost in de vorm van een berging (deel 7.2).

7.1 Tijdelijke bovengrondse opslag

De referentiesituatie is die van de huidige tijdelijke bovengrondse opslag in Dessel van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval in afwachting van zijn geologische berging (deel 7.1.1). De situatie van tijdelijke opslag van de verbruikte splijtstof van de kerncentrales van Doel en Tihange op de sites van de centrales is nauw verbonden met de referentiesituatie (deel 7.1.2). Deze splijtstof is momenteel immers door de eigenaar ervan (Synatom) niet als radioactief afval aangegeven bij NIRAS, maar is opgenomen in de referentie-inventaris in overeenstemming met de hypothese van Synatom op 31 december 2018 inzake opwerking. Als het Plan niet wordt uitgevoerd, zal de opslag van verbruikte splijtstof op de site van de centrales hetzelfde soort problemen doen rijzen als de opslag van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval in Dessel. De tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof is daarom opgenomen in de bevindingen met betrekking tot de referentiesituatie.

Tijdelijke opslag is een noodzakelijke stap in alle systemen voor het beheer van radioactief afval in de wereld. Hij is betrouwbaar en veilig als het afval actief en adequaat beheerd wordt. Dat beheer omvat het toezicht, het onderhoud en de renovatie van de gebouwen en hun uitrustingen, zodat ze de in het ontwerp bepaalde levensduur kunnen bereiken of zelfs overschrijden. Ook moet de integriteit van de verpakkingen van radioactief afval en verbruikte splijtstof periodiek gecontroleerd worden, zodat eventueel corrigerende maatregelen kunnen worden genomen.

7.1.1 Tijdelijke opslag van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval

De zes tijdelijke opslaggebouwen van NIRAS bevinden zich in Dessel, op een site die door haar industriële dochteronderneming Belgoprocess wordt geëxploiteerd. Ze werden ontworpen in overeenstemming met de radiologische kenmerken van het afval dat erin opgeslagen wordt en worden geëxploiteerd conform de voorwaarden van de nucleaire en milieuvergunningen. Ze staan onder toezicht van het FANC. Ze hebben een levensduur van ongeveer 75 jaar, die voor sommige ervan verlengd kan worden tot een honderdtal jaren, mits het FANC ermee akkoord gaat (tabel 7). Ze bereiken geleidelijk het verzadigingspunt, waardoor er capaciteitsuitbreidingen gepland zijn. De uitrustingen (manutentie, controle-bediening, ventilatie enz.) hebben een kortere levensduur, van 15 tot ongeveer 30 jaar, afhankelijk van het soort uitrusting, en worden naargelang van de behoeften gerenoveerd of vervangen.

¹¹ De referentiesituatie verwijst in principe naar de relevante aspecten van de bestaande situatie van het milieu in de — nog onbekende — zone waarop het Plan betrekking heeft en waarin het aanzienlijke milieueffecten kan hebben; de verwachte ontwikkeling ervan als het Plan niet wordt uitgevoerd, verwijst naar de evolutie van deze relevante aspecten.

Tabel 7 – Belangrijkste kenmerken van de opslaggebouwen voor geconditioneerd afval bij Belgoprocess in termen van verwachte exploitatieduur, capaciteit en het afval dat ze per 31 december 2018 bevatten (inclusief afgedankte ingekapselde bronnen).

Gebouwen	Inbedrijf- stelling	Verwacht einde van de exploitatie	Afval- categorieën	Capaciteit [m ³]	Vul- percentage [%]	Volume [m ³]	Activiteit [Bq]	
							α	β - γ
127	1976	2040	A + vooral B	4 700	83	3 900	$3,4 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{16}$
129	1985	2090	B	250	86	215	$1,7 \cdot 10^{15}$	$3,7 \cdot 10^{17}$
136-Zone X	2000	2130	C	106	66	70 (verglaasd)	$8,1 \cdot 10^{16}$	$5,9 \cdot 10^{18}$
136-Zone D	2009	2130	B	600	26	154	$2,1 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{16}$
150	1986	2045	A + B	1 900	100	1 900	$1,9 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{14}$
151	1988	2050	A + B	14 700	97	14 253	$5,4 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{15}$
155	2006	2090	B	4 221	91	3 822	$1,9 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{16}$

Ter illustratie worden het oudste en het nieuwste gebouw hierna kort beschreven (figuur 12):

- Gebouw 127, dat in 1976 in gebruik werd genomen, bevat voornamelijk geconditioneerd middelactief afval. Het bestaat uit vier geventileerde bunkers met 80 cm dikke wanden van gewapend beton en een 75 cm dik dak.
- Gebouw 136, dat in 2000 in gebruik werd genomen, is bestemd voor de opslag van verglaasd hoogactief afval afkomstig van de opwerking van verbruikte splijtstof van de kerncentrales van Doel en Tihange en voor de opslag van geconditioneerd middelactief afval afkomstig van de opwerking van diezelfde splijtstof en onderzoekssplijtstof. Het is geventileerd. Het is ontworpen om bestand te zijn tegen verschillende soorten gebeurtenissen (crash van een militair vliegtuig, aardbeving, harde wind, explosie, brand, overstroming enz.).
 - Het verglaasde hoogactieve afval wordt opgeslagen in verticale kokers in opslagmodules. De betonwanden hebben een totale dikte van 180 cm, waarvan 140 cm van zwaar gewapend beton. De plafondplaat is 170 cm dik.
 - De andere afvaltypes worden opgeslagen in een opslagmodule met wanden van gewapend beton die tot 170 cm dik zijn.

De milieu-impact van de actieve beheeractiviteiten is verwaarloosbaar. De impact van de aanwezigheid zelf van het opgeslagen afval blijft binnen de toegestane limieten [FANC 2019]: de wanddiktes van de gebouwen zijn zo berekend dat de dosistempen buiten de modules voldoen aan de dosislimieten voor werknemers die door het algemeen reglement op stralingsbescherming worden opgelegd. Bovendien zijn er geen vloeibare of gasvormige lozingen.



Figuur 12 – Opslag in Dessel. Boven: gebouw 127 voor de opslag van geconditioneerd middelactief afval; onder: gebouw 136, zone-X, voor de opslag van geconditioneerd hoogactief afval.

7.1.2 Tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof

De verbruikte splijtstof van de kerncentrales van Doel en Tihange wordt door Electrabel, onder zijn verantwoordelijkheid en overeenkomstig de voorwaarden van de nucleaire veiligheids- en milieuvergunningen, tijdelijk opgeslagen op de sites van de centrales. Op 31 december 2017 was 2 590 tHM verbruikte splijtstof, dat wil zeggen 60% van de totale hoeveelheid splijtstof die definitief uit de reactoren is geladen sinds de inbedrijfstelling ervan¹², op die manier opgeslagen [België 2018]:

- droog, in metalen containers, in Doel;
- onder water in Tihange.

De milieu-impact van deze tijdelijke opslag, die onder toezicht van het FANC staat, blijft binnen de toegestane limieten [FANC 2019].

De tijdelijke opslagcapaciteit voor verbruikte splijtstof in Doel en Tihange, die eind 2017 respectievelijk voor ongeveer 61% en 78% was ingenomen, zal in 2025, vóór de volledige uitstap uit kernenergie, verzadigd zijn. Tegen dan zouden twee nieuwe installaties voor droge opslag in containers — één op elke site — in bedrijf moeten worden gesteld.

De huidige opslaginstallaties kunnen als volgt worden beschreven:

- Het gebouw voor tijdelijke droge opslag in Doel werd in 1995 in gebruik genomen. Het beschermt de containers met verbruikte splijtstof en de uitrustingen van het gebouw tegen noodweer en biedt bijkomende radiologische afscherming bovenop de bescherming die door de containers wordt geboden. Het gaat om speciale transport- en opslagcontainers, die elk een dertigtal verbruikte-splijtstofelementen bevatten en met name een kritikaliteitsbeheersingsfunctie hebben, namelijk het beheersen van het risico van een ongecontroleerde kernsplijtingskettingreactie. Ze geven warmte af, die door natuurlijke ventilatie wordt afgevoerd. Ze zijn ontworpen om bestand te zijn tegen de impact van een

¹² De rest van de definitief ontladen verbruikte splijtstof werd opgewerkt of is nog opgeslagen in de koelbekkens van de reactoren.

militair vliegtuig en de kerosinebrand en ineenstorting van het gebouw die daar het gevolg van zouden kunnen zijn. Ze hebben een nominale levensduur van 50 jaar, die kan worden verlengd.

- Het gebouw voor tijdelijke onderwateropslag in Doel werd in 1997 in gebruik genomen. Het is gebunkerd om te weerstaan aan externe gebeurtenissen (impact van een militair vliegtuig, aardbeving, explosie). Het bevat acht bekkens die uitgerust zijn met instrumenten om de kritikaliteit te controleren. Onderwateropslag vereist een strikte controle van het minimale waterniveau (om de blootstelling van werknemers aan ioniserende straling te beperken) en van de waterchemie (vooral om de corrosie van splijtstofelementen te voorkomen en de subkritikaliteit te helpen in stand houden), evenals het onderhoud van de koelsystemen (om een adequate afvoer van de restwarmte te garanderen).

7.2 Verwachte evolutie als het Plan niet wordt uitgevoerd

Het actieve beheer van radioactief afval over zeer lange periodes is intrinsiek moeilijk, omdat de bescherming van mens en milieu afhankelijk is van de handhaving van actieve beheermaatregelen: het is onmogelijk in te schatten of en hoe lang deze maatregelen en context zullen blijven bestaan. Als ze verzwakken, zullen de gevolgen op termijn ernstig zijn, omdat het afval uiteindelijk niet meer afgezonderd zal zijn van mens en milieu.

Indien het Plan niet wordt uitgevoerd (zie hoofdstuk 12 voor de belangrijkste redenen — behalve milieu — om de nationale beleidsmaatregelen zonder uitstel goed te keuren) en het geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval dus tijdelijk opgeslagen moet blijven, zal NIRAS het afval *zonder langetermijnvisie moeten beheren*, waarbij dus problemen, die zich onvermijdelijk zullen manifesteren, met kortetermijnoplossingen en op een ad-hocbasis moeten worden opgelost. Electrabel zal met soortgelijke problemen te maken krijgen voor de opslag van verbruikte splijtstof tot op het ogenblik waarop het beheer ervan wordt overgedragen aan NIRAS.

Geleidelijk zullen verschillende soorten milieueffecten ontstaan:

- de bestaande tijdelijke opslaggebouwen zullen aan het einde van hun levensduur gerenoveerd of vervangen moeten worden en de verouderde gebouwen zullen ontmanteld moeten worden; beide ingrepen zullen gevolgen hebben voor het milieu, met onder andere een waarschijnlijke toename van de totale hoeveelheid te beheren radioactief afval;
- aangezien de colli geconditioneerd afval niet bedoeld zijn om gedurende een eeuw of meer opgeslagen te blijven, zullen ze waarschijnlijk opnieuw geconditioneerd worden als de insluiting van de radioactieve stoffen niet langer volledig verzekerd is; dergelijke activiteiten zullen onvermijdelijk leiden tot een toename van de totale hoeveelheid te beheren radioactief afval; hetzelfde geldt voor de opgeslagen verbruikte splijtstof, waarvan het omhulsel mettertijd kan worden aangetast en dus maatregelen kan vereisen om de veiligheid tijdens de opslag te verzekeren;
- de manutentie van de opgeslagen afvalcolli of van de (containers met) verbruikte splijtstof, hetzij bij de renovatie van de gebouwen, hetzij bij de overbrenging naar de nieuwe opslaggebouwen, brengt risico's op het gebied van operationele veiligheid met zich mee.

Het *reactieve beheer* dat zal plaatsvinden als het Plan niet wordt uitgevoerd, zal uiteraard worden voortgezet in overeenstemming met de bepalingen van het wettelijke en reglementaire veiligheids- en milieukader. Het is evenwel onmogelijk te voorspellen hoelang het veilig zal blijven, aangezien de contextuele onzekerheden zullen toenemen (risico's van verslechtering van de reglementaire opvolging, verdwijning van de exploitant, erosie van de kennis, uitdroging van de financiering, oorlog enz.): de situatie van veilige tijdelijke bovengrondse opslag zal uiteindelijk verschuiven naar een onveilige situatie als gevolg van een verslechterde

beheercontext. Het is dus onmogelijk aan te tonen dat de veiligheid mettertijd onbeperkt in stand zal worden gehouden.

Als het actieve beheer op termijn verloren gaat, zullen er ernstige milieuproblemen ontstaan. Als de opslaggebouwen achtergelaten worden, zullen ze beginnen te vervallen, net als de inhoud ervan. De radioactieve stoffen die dan geleidelijk uit het afval en de verbruikte splijtstof vrijkomen, zullen het leefmilieu uiteindelijk ernstig besmetten.

8 Gebruikte methode

Gezien het onuitgegeven, conceptuele en generieke karakter van het Plan heeft NIRAS ervoor gekozen om het SEA zelf op te stellen (deel 8.2). Daarbij is ze uitgegaan van methodologische basiskeuzes (deel 8.1) die bedoeld zijn om om te gaan met de moeilijkheden die inherent zijn aan de beoordeling van de milieueffecten van een grotendeels abstract voorstel (deel 8.3).

8.1 Methodologische aanpak

Om een verkennende beoordeling van de milieueffecten van het Plan mogelijk te maken hoewel de beoordelingsscope uitermate breed en onnauwkeurig is, heeft NIRAS gewerkt met

- technische typeconcepten (deel 8.1.1);
- twee verschillende tijdsdomeinen (deel 8.1.2);
- een referentie-inventaris van het radioactieve afval, waarbij bepaalde gevolgen van een eventuele wijziging van die inventaris in acht worden genomen (deel 8.1.3).

Het SEA besteedt ook aandacht aan de robuustheid van de geologische berging in galerijen en van de geologische berging in diepe boorgaten en bekijkt dus in welke mate deze opties de bescherming van mens en milieu kunnen waarborgen ondanks de evoluties waaraan ze in de tijd onderhevig zullen zijn (deel 8.1.4).

8.1.1 Beheeropties en typeconcepten

Ondanks de zeer uitgebreide kennis en expertise die NIRAS in de loop van 40 jaar onderzoek, ontwikkeling en demonstratie op het gebied van geologische berging heeft opgebouwd en ondanks de opmerkelijke verworvenheden op internationaal niveau, kunnen de geologische berging in galerijen en de geologische berging in diepe boorgaten in het SEA enkel door typeconcepten worden voorgesteld. NIRAS weet immers nog niets over de locatie (met inbegrip van de geologische omgeving) waar het Plan zal worden uitgevoerd, noch over het technische project of de uitvoeringsmodaliteiten. Deze typeconcepten geven een overzicht van de belangrijkste fasen van de activiteiten (voorbereiding van de site, bouw, exploitatie, volledige sluiting, herstelling van de site in een onbebouwde of minder bebouwde staat), met een algemeen indicatief tijdschema en een algemene beschrijving van de belangrijkste verwachte activiteiten, alsook een inventaris van de belangrijkste benodigde installaties en een beknopte beschrijving van de bergingsinstallaties en de toegang tot deze installaties.

8.1.2 Periode vóór de sluiting en periode na de sluiting

Aangezien de aard en het belang van de milieueffecten van geologische berging in galerijen en geologische berging in diepe boorgaten mettertijd zullen evolueren en hoofdzakelijk verschillen naargelang er al dan niet nog menselijke activiteiten plaatsvinden, maakt het SEA een onderscheid tussen de effecten van de periode vóór de sluiting en de effecten van de periode na de sluiting. Deze effecten worden dan ook afzonderlijk beoordeeld (deel 6.1.2):

- *voor de periode vóór de sluiting* wordt de beoordeling van de effecten uitgevoerd op basis van de typeconcepten tot de volledige sluiting van de ondergrondse installatie; NIRAS identificeert en beschrijft de belangrijkste mogelijke effecten van de belangrijkste soorten activiteiten;
- *voor de periode na de sluiting* is de beoordeling van de effecten gebaseerd op de kennis van de natuurlijke evolutie van de bergingssystemen op lange termijn, na de volledige sluiting ervan.

8.1.3 Inventarissen van radioactief afval

Voor de beoordeling van de milieueffecten van het Plan wordt uitgegaan van de referentie-inventaris (deel 2.4.2). De impact van de mogelijke aanvullende inventaris (deel 2.4.3) op de milieueffecten wordt op een algemene kwalitatieve manier in beschouwing genomen (deel 9.4). In combinatie met die beschouwing wordt ook nagegaan in welke mate de twee geologische-bergingsopties een wijziging van de referentie-inventaris kunnen ondervangen, met andere woorden er wordt onderzocht in hoeverre ze ruimte bieden voor *flexibiliteit* (hoofdstuk 11).

8.1.4 Onzekerheden met betrekking tot de periode na de sluiting en robuustheid

De extreem lange tijdspanne van het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval doet vragen rijzen over de betrouwbaarheid van de milieueffectenbeoordeling voor de periode na de sluiting. Geologische berging, in galerijen of in diepe boorgaten, zal immers onderhevig zijn aan evoluties, meer bepaald externe evoluties, die onmogelijk met de gewenste nauwkeurigheid te voorspellen zijn.

Naast de milieueffecten voor de periodes vóór en na de sluiting gaat het SEA dan ook, aan de hand van het begrip robuustheid, de betrouwbaarheid na van de resultaten van de effectenbeoordelingen voor de periode na de sluiting. De robuustheid van de beheeropties geeft immers weer in hoeverre ze ongevoelig zijn voor evoluties met verloop van tijd, zodat ze de bescherming — en in het bijzonder de radiologische en chemotoxische bescherming — van mens en milieu blijvend kunnen waarborgen.

Robuustheid is een intrinsiek kenmerk van elke beheeroptie en wordt vanuit vier invalshoeken beoordeeld:

- robuustheid ten aanzien van natuurlijke evoluties, meer bepaald klimaatveranderingen;
- robuustheid ten aanzien van evoluties in het systeem die afwijken van de verwachte evolutie;
- robuustheid ten aanzien van niet-natuurlijke externe gebeurtenissen;
- robuustheid ten aanzien van maatschappelijke evoluties.

8.2 Geraadpleegde deskundigen

Gelet op het conceptuele en generieke karakter van het Plan en de focus op een soort activiteit zonder precedent in België, waarmee de actoren die gewoonlijk een toegevoegde waarde kunnen bieden bij de beoordeling van de milieueffecten van plannen of programma's weinig of geen ervaring hebben, heeft NIRAS ervoor gekozen om zelf het SEA op te stellen (wet van 13 februari 2006, artikel 9).

8.3 Moeilijkheden en beperkingen

De moeilijkheden bij de opstelling van het SEA vloeien voort uit het feit dat het Plan zo conceptueel en generiek is dat geen enkele van de concrete elementen ervan bekend is: de geologische-bergingsoplossing kan op talrijke plaatsen en op vele manieren worden uitgevoerd. Deze oefening moet niettemin voor elk voorstel tot nationale beleidsmaatregelen worden gemaakt, hoe algemeen ook.

NIRAS heeft dan ook getracht de voor het Plan relevante beschrijvende beoordelingen uit te voeren door de geest van de wet zo goed mogelijk te volgen. Dit SEA vormt de basis van de milieueffectenbeoordelingen die in latere stadia van de goedkeuring en uitvoering van de nationale beleidsmaatregelen zullen worden gerealiseerd.

9 Beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen

Gezien het abstracte karakter van het Plan wordt bij de beoordeling van zijn milieueffecten (deel 9.3) voor de geologische berging in galerijen vertrokken van typeconcepten (deel 9.1), op basis waarvan bepaalde aannames, parameterwaarden en de belangrijkste activiteiten die tijdens de verschillende uitvoeringsfasen in beschouwing moeten worden genomen, worden vastgesteld (deel 9.2). Die beoordeling wordt aangevuld met overwegingen aangaande de milieueffecten van een uitbreiding van de referentie-inventaris (deel 9.4), de opvolgmaatregelen (ook wel 'monitoring' genoemd — deel 9.5) en de milieueffecten van een multinationale gedeelde geologische berging in galerijen (deel 9.6).

Bij de beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen wordt uitgegaan van de berging van afval van de categorieën B en C in één enkele installatie, in tegenstelling tot hun berging in afzonderlijke installaties. De effecten van berging in afzonderlijke installaties zouden groter zijn dan die van berging in één enkele installatie, vanwege de duplicatie van de bovengrondse installaties, maar ook van de toegangen tot de bergingszones van de ondergrondse installatie.

9.1 Typeconcepten

De geologische berging in galerijen wordt voorgesteld aan de hand van vier typeconcepten. Aangezien geologische-bergingssystemen steevast worden ontwikkeld volgens een systeem-benadering, afhankelijk van de kenmerken van de gastformatie en die van het in te sluiten en af te zonderen afval (zie inleiding van hoofdstuk 3), is het immers niet mogelijk om één enkel typeconcept te bepalen dat geldt voor de geologische berging in alle soorten mogelijke gastformaties. Het is niet de bedoeling om deze typeconcepten te vergelijken in termen van 'beter' of 'slechter' in een bepaald opzicht, aangezien ze het resultaat zijn van een systeem-benadering.

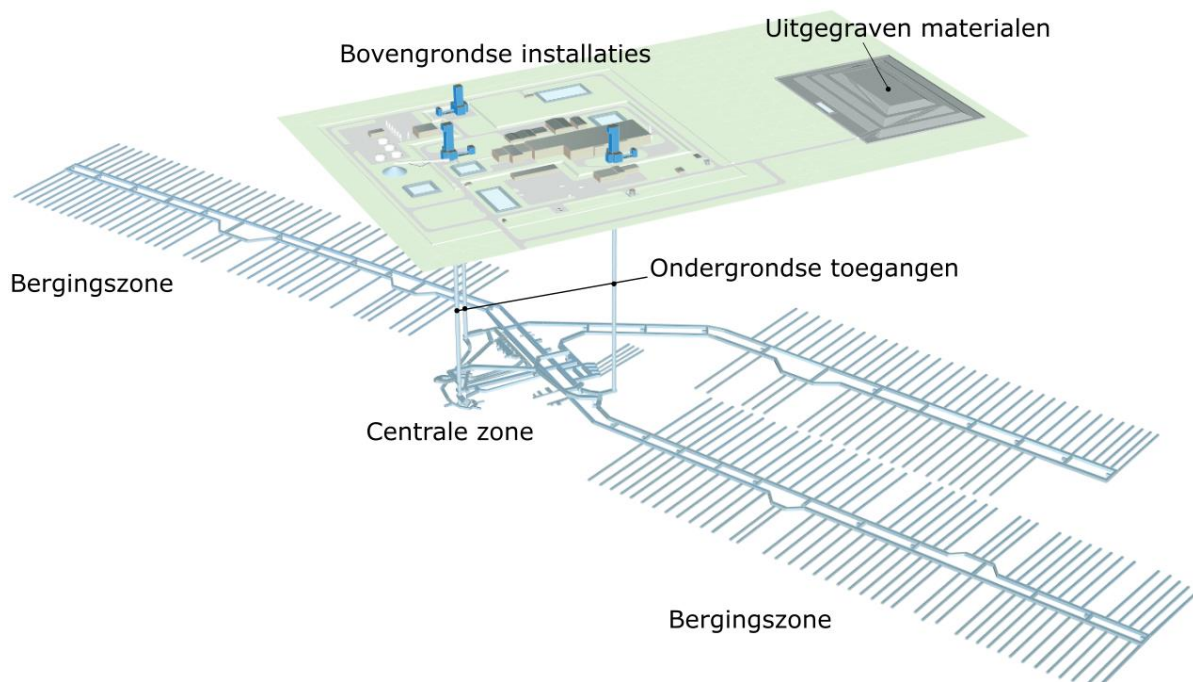
De vier typeconcepten waarop NIRAS de beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen baseert, zijn drie typeconcepten uit een recente Britse generieke studie en één Belgisch typeconcept. Wat deze concepten gemeen hebben, is dat ze zijn ontwikkeld met een strategische focus en betrekking hebben op de berging van afval van categorie B en afval van categorie C.

- De Britse generieke typeconcepten werden onlangs ontwikkeld door *Radioactive Waste Management* (RWM), het Britse agentschap dat verantwoordelijk is voor de geologische berging van afval van de categorieën B en C, ter voorbereiding van het selectieproces voor een bergingssite in een nog te bepalen gastformatie [RWM 2016a, 2016b]. Deze drie concepten — één voor elk van de drie belangrijkste soorten gastformaties (evaporieten, kristallijne gesteenten of kleiformaties) — berusten op aanvaarde aannames voor concepten die wereldwijd werden ontwikkeld voor de berging van afval van categorieën B en/of C in die formaties en waarvoor een uitgebreide technisch-wetenschappelijke basis bestaat. Zo is het generieke typeconcept voor kleiformaties gebaseerd op de concepten die door Zwitserland en, in mindere mate, Frankrijk en België zijn ontwikkeld voor geologische berging in galerijen in kleiformaties. De Britse typeconcepten werden op maat van de Britse referentie-inventaris opgesteld.
- Het Belgische typeconcept is het concept waarop het financiële referentiescenario gebaseerd is dat van kracht is op de referentiedatum van het SEA, namelijk 31 december 2018 [NIRAS 2018b]. Het doel hiervan is om een realistische schatting te geven van de kosten van een oplossing voor geologische berging in galerijen in België. Het is specifiek ontworpen voor een weinig verharde kleiformatie en voor de Belgische referentie-inventaris van afval van de categorieën B en C (deel 2.4.2). Het is gestoeld op de kennis

die gedurende meer dan 40 jaar onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot dit soort formatie in België werd opgebouwd.

Onderzoek van de Britse typeconcepten brengt grote verschillen aan het licht, bij een constante afvalinventaris, als gevolg van verschillen in de kenmerken van de gastformaties. Wanneer we de waarden van hun dimensioneringsparameters omzetten naar de Belgische referentie-inventaris, kunnen we de overeenkomstige waarden voor het Belgische typeconcept (deel 9.2.1) in perspectief plaatsen.

De typeconcepten voor geologische berging in galerijen (figuur 13) omvatten een inventaris van de belangrijkste bovengrondse installaties (deel 9.1.1), een beknopte beschrijving van de ondergrondse installatie en haar toegangen (deel 9.1.2) en enkele overwegingen met betrekking tot de fasering van de activiteiten en de sluiting van de installatie en haar toegangen (deel 9.1.3).



Figuur 13 – Weergave van een conceptueel plan voor geologische berging in galerijen, ontwikkeld door SGDN [SGDN 2019].

9.1.1 Bovengrondse installaties

De bovengrondse installaties voor een geologische berging in galerijen zijn niet bedoeld om permanent te zijn: ze zullen aan het einde van de periode vóór de sluiting van de bergingsinstallatie — volledig of gedeeltelijk — worden afgebroken. Ze zijn deels vergelijkbaar met de installaties die op een klassiek industrieterrein te vinden zijn en voor een deel ook met de installaties voor het courante beheer van radioactief afval, zoals de installaties die op de sites van NIRAS aanwezig zijn en door Belgoprocess in Mol en Dessel worden geëxploiteerd. De enige vernieuwende bovengrondse installatie is de postconditioneringsinstallatie (onderdeel van het Belgische typeconcept). De werking ervan berust evenwel op technieken en procedés die regelmatig worden toegepast in conditionerings- en opslaginstallaties zoals die in Mol en Dessel.

De bovengrondse installaties kunnen worden onderverdeeld in drie zones: een publieke, een niet-nucleaire en een nucleaire zone (figuur 14).

Publieke zone De publieke zone omvat bijvoorbeeld een bezoekerscentrum, parkeerplaatsen en een communicatiecentrum, waar een vaste tentoonstellingsruimte kan worden ingericht met computersimulaties die de werkingsprincipes van een bergingssysteem illustreren.

Niet-nucleaire zone De niet-nucleaire zone wordt afgesloten en is opgevat als een klassieke industriezone met toegangscontrole. Deze zone omvat de niet-nucleaire installaties die nodig zijn voor het bergingsproject tot en met de volledige sluiting van de ondergrondse installatie en haar toegangen. We vinden er:

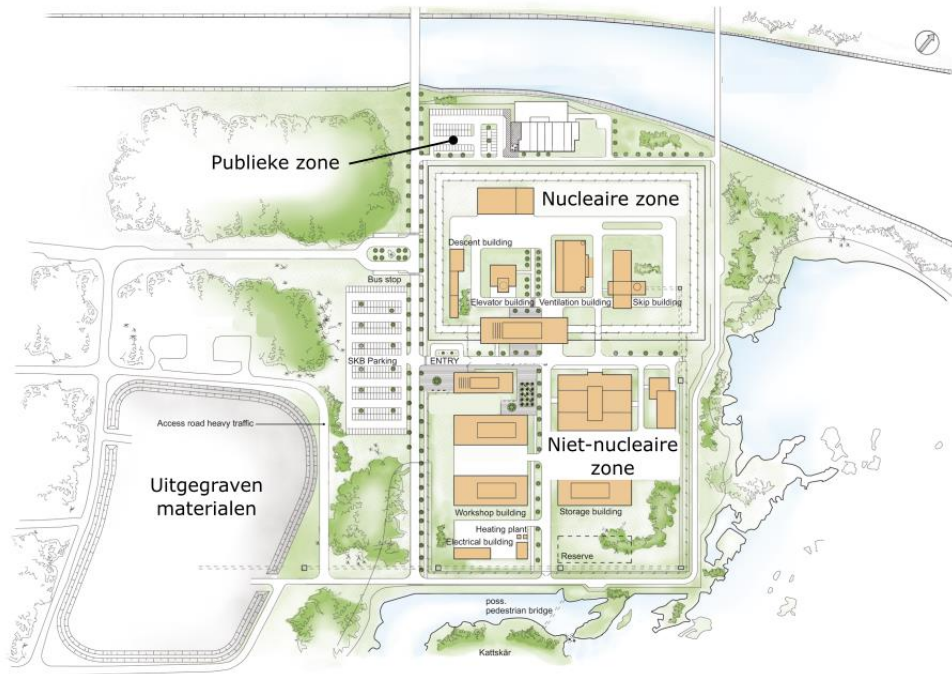
- installaties *specifiek* voor het bergingsproject, bijvoorbeeld:
 - ▶ één of meer *opslagzones voor de uitgegraven materialen*. Bij een constante inventaris van het op te slagen afval is het volume van die materialen onder andere afhankelijk van het soort gastformatie en het bergingsconcept.
Naargelang de gekozen gastformatie en het concept kunnen de uitgegraven materialen ten minste gedeeltelijk als vulmateriaal voor de ondergrondse installatie worden gebruikt, of kunnen — en zelfs moeten — ze van de site worden afgevoerd. Zo kunnen kristallijne en kleiachtige uitgegraven materialen op de site worden hergebruikt in de vorm van permanente taluds. Ze kunnen eveneens worden gebruikt voor het opvullen van (delen van) de ondergrondse installatie of van de site worden afgevoerd om elders te worden toegepast. Anderzijds moeten de uitgegraven evaporietmaterialen worden gebruikt voor het opvullen van (delen van) de ondergrondse installatie of buiten de site worden toegepast, omdat ze oplosbaar zijn.
 - ▶ een *installatie voor de behandeling van percolaten* van de opgeslagen uitgegraven materialen;
 - ▶ een *waterbehandelingsinstallatie*, met name het water dat in de ondergrondse installatie sijpelt en naar de oppervlakte moet worden gepompt;en, als beslist wordt om ze ter plaatse te maken,
 - ▶ een *centrale voor de productie van bouwmaterialen* voor de bovengrondse installaties en voor de ondergrondse installatie en haar toegangen, waarvoor in alle type-concepten grote hoeveelheden beton nodig zijn;
 - ▶ één of meer *centrales voor de productie van bepaalde onderdelen die nodig zijn voor de postconditionering* van het afval;
 - ▶ een *centrale voor de productie van vulmaterialen* voor de ondergrondse installatie en haar toegangen. Deze materialen en de benodigde hoeveelheden zijn afhankelijk van het bergingssysteem, waarbij in eenzelfde systeem verschillende materialen kunnen worden gebruikt.
- installaties *niet specifiek* voor het bergingsproject, zoals administratieve gebouwen, ruimten voor het in ontvangst nemen van geleverde materialen (grondstoffen, bouwmaterialen, prefabonderdelen enz.), voorzieningen en gebouwen voor werfwerkzaamheden en onderhoud (werkplaatsen, elektrische apparatuur, brandpost enz.), wasinrichting of laboratorium.

Nucleaire zone De nucleaire zone, die op het gebied van toegangscontrole aan bijzondere eisen moet voldoen, omvat de installaties waar het radioactieve afval doorheen gaat vanaf het moment dat het aankomt op de bergingssite tot wanneer het naar de ondergrondse installatie wordt overgebracht. Het gaat om nucleaire installaties van klasse I in de zin van het algemeen reglement op stralingsbescherming [België 2001], evenals de bergingsinstallaties voor radioactief afval.

In de nucleaire zone vinden we onder meer:

- een gebouw met een zone voor het in ontvangst nemen van het afval dat van de opslagsite komt, eventueel een installatie voor de postconditionering van dit afval in speciaal ontworpen bergingscontainers en bufferzones voor het opslaan van de bergingscolli voordat ze naar de ondergrondse installatie worden overgebracht;

- gebouwen die toegang geven tot de ondergrondse installatie via toegangsschachten en eventueel via een toegangstunnel;
- verluchttingsinstallaties.



Figuur 14 – Mogelijke lay-out van de bovengrondse installaties van het Zweedse concept voor de geologische berging van verbruikte splijtstof in galerijen [SKB 2011].

9.1.2 Ondergrondse constructies

De ondergrondse constructies omvatten de eigenlijke bergingsinstallatie en haar toegangen. Het complex is een nucleaire installatie van klasse I.

Tabel 8 schetst enkele kenmerken van de typeconcepten die voor de milieueffectenbeoordeling worden gebruikt en geeft hun verschillen aan. Die verschillen zijn voornamelijk het gevolg van een verschil in gastformatie en verschillen tussen de Belgische en de Britse inventaris. De Belgische inventaris bevat immers ongeveer vijftig keer minder afval van categorie B en vijf keer minder afval van categorie C dan de Britse inventaris¹³.

Ondergrondse toegangen De ondergrondse toegangen verbinden de bovengrondse installaties met de ondergrondse installatie. Ze maken het mogelijk om uitrustingen en materialen over te brengen (ook de uitgegraven materialen die naar de oppervlakte moeten worden gebracht), om personeel over te brengen, bergingscolli naar beneden (en eventueel weer naar boven) te brengen en de ondergrondse installatie te verluchten. Er zijn twee soorten toegangen: verticale schachten of tunnels. Hun lengte hangt af van de diepte van de installatie en, voor de tunnels, van hun hellingsgraad. Ze worden aangelegd met behulp van conventionele

¹³ Het Verenigd Koninkrijk heeft 42 commerciële kernreactoren die momenteel werken of definitief zijn stilgelegd, zes keer meer dan België, en moet niet alleen een zeer grote hoeveelheid historisch afval beheren afkomstig van de ontwikkeling van baanbrekende nucleaire activiteiten sinds de jaren veertig (63% van het afval van categorie B), maar ook afval als gevolg van zijn militaire activiteiten en zijn installaties voor de opwerking en verrijking van uranium.

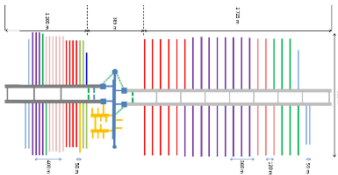
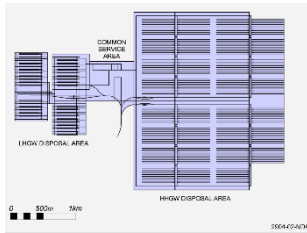
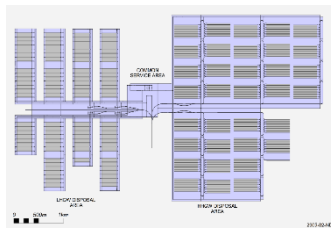
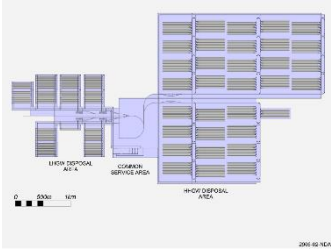
graaftechnieken en gestabiliseerd met technieken die verschillen naargelang het type toegang, de diameter ervan en de doorgestoken geologische formaties.

Ondergrondse installatie De ondergrondse installatie is de plaats waar het radioactieve afval wordt geborgen. Het is een bijzonder en vernieuwend industrieel bouwwerk dat bedoeld is voor de lange termijn. De bouw ervan is een technische uitdaging die aan heel wat vereisten onderhevig is. Zo moeten de graaftechnieken voor de bergingsgalerijen in kleiformaties de gastformatie zo min mogelijk verstoren, zodat de goede werking van het bergingssysteem niet in het gedrang komt en is het bij kristallijne gesteenten essentieel om een zo gedetailleerd mogelijke voorkennis van de breuken in het gesteente te hebben om de best mogelijke plaats voor de bergingsgalerijen te bepalen.

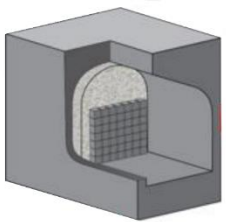
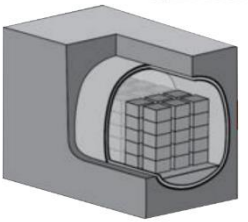
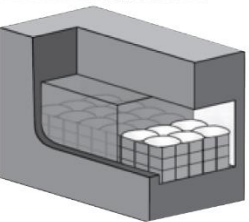
De ondergrondse installatie vertoont met name de volgende kenmerken:

- Ze wordt gebouwd in een horizontaal vlak, op één enkel niveau.
- De wanden van de uitgegraven volumes worden gestabiliseerd met technieken en in een mate die afhankelijk zijn van de gastformatie: in sommige kleiformaties moeten de wanden met betonblokken worden verstevigd om spontane convergentie te beperken. In andere gastformaties is stabilisatie niet overal nodig. Op de plaatsen waar stabilisatie wel nodig is, worden verankeringsbouten en gelaste netten gebruikt, al dan niet met spuitbeton. De gekozen wandbekleding en het dichten van eventuele barsten helpen ook om waterinsijpeling in de installatie te beperken, die bij kristallijne gesteenten aanzienlijk kan zijn.
- Het afval wordt gegroepeerd in zones op basis van zijn belangrijkste (radiologische, thermische en andere) kenmerken. De installatie bestaat dus uit twee afzonderlijke bergingszones, één voor afval van categorie B (zone B) en één voor afval van categorie C (zone C), die elk uit parallelle bergingsgalerijen bestaan. Beide zones liggen enkele honderden meters uit elkaar om mogelijke schadelijke (thermische, hydraulische, mechanische, chemische of gasvormige) interacties te vermijden die het systeem na de sluiting zouden kunnen beïnvloeden.
- De twee bergingszones worden gescheiden door een centrale zone. In die zone bevinden zich de toegangsgalerijen en de benodigde ondergrondse technische installaties, zoals eventueel een cel om de bergingscolli uit hun afgeschermd transportcontainer te halen vooraleer ze via afstandsbediening naar hun bergingsgalerij worden overgebracht. Deze centrale zone kan ook een proefzone omvatten voor het uitvoeren van proeven, onder meer om de kenmerken van de gekozen gastformatie te bevestigen of om het plaatsen en weer terughalen van dummy en/of echte bergingscolli te demonstreren. Deze zone kan ook dienen om het ontwerp van de installatie en de operaties te optimaliseren, bijvoorbeeld door vernieuwende technieken uit te proberen voor de manutentie van de bergingscolli, technieken voor het sluiten van de galerijen en monitoringtechnieken.
- De bergingscolli worden, afhankelijk van het bergingssysteem, via een schacht of een tunnel naar beneden gebracht.
- De bergingscolli met afval van categorie B kunnen op en achter elkaar worden gestapeld in galerijen met een grote doorsnede (wanneer het soort gastformatie dat toelaat) of kunnen achter elkaar worden geplaatst in cilindrische galerijen met een kleinere doorsnede.
- De bergingszone voor afval van categorie C, dat warmte afgeeft, wordt zodanig ontworpen dat de afgegeven warmte wordt afgevoerd. Dat zorgt ervoor dat de stijging van de temperatuur van de kunstmatige en natuurlijke barrières beperkt blijft tot waarden die geen invloed hebben op het insluitings- en afzonderingsvermogen van het bergingssysteem en dat de temperatuurstijging in de watervoerende lagen onder de reglementaire waarden blijft. Aan die vereiste kan met name worden voldaan door de duur van de tijdelijke opslag, en dus de afkoeltijd bovengronds, de afstand tussen de bergingscolli in eenzelfde bergingsgalerij en de afstand tussen de bergingsgalerijen aan te passen.

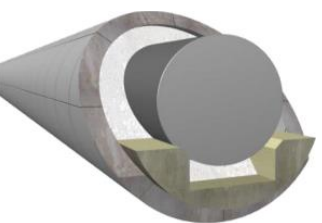
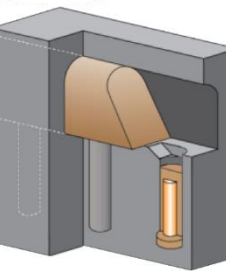
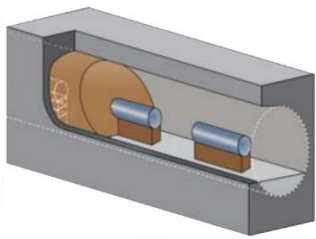
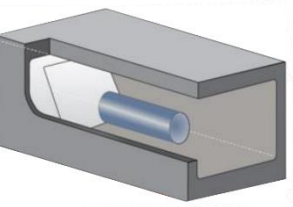
Tabel 8 – Belangrijkste kenmerken van de vier typeconcepten voor geologische berging in galerijen waarop de milieueffectenbeoordeling is gebaseerd, voor de respectieve afvalinventarissen. Het Belgische typeconcept, dat werd opgesteld om de kosten van geologische berging te ramen, en de overeenkomstige inventaris van afval van de categorieën B en C zijn degene die gelden op de referentiedatum van het SEA, namelijk 31 december 2018. De gegevens lopen niet vooruit op de kenmerken van een toekomstig systeem voor de geologische berging van dit afval in galerijen.

Belgisch typeconcept <i>weinig verharde klei</i>		Britse generieke typeconcepten		
		'meer resistente' formatie concept gebaseerd op de Britse en Zweedse concepten (kristallijne gesteenten)	'minder resistente' formatie concept gebaseerd op de Zwitserse, Franse en Belgische concepten (kleiformaties)	evaporiet concept gebaseerd op de Amerikaanse en Duitse concepten
Referentie-inventaris				
Afval van categorie B	10 900 m ³	524 100 m ³	524 100 m ³	524 100 m ³
Afval van categorie C	≈ 2 600 m ³ (250 + 2 350)	12 163 m ³	12 163 m ³	12 163 m ³
Voetafdruk				
Oppervlakte van de site	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²
Oppervlakte ingenomen door uitgegraven materialen	≈ 0,3 km ²	niet beschikbaar	niet beschikbaar	niet beschikbaar
Ondergrondse toegangen				
Aantal en type	2 schachten	1 tunnel en 3 schachten	1 tunnel en 3 schachten	4 schachten
Overbrenging van bergingscolli	via schacht	via tunnel	via tunnel	via schacht
Ondergrondse installatie				
Gebouwd in een horizontaal vlak, op één enkel niveau				
Diepte en lay-out	400 m	650 m	500 m	650 m
Links: zone B Midden: centrale zone Rechts: zone C				
<i>Schetsen met verschillende schalen, centrale zones niet op schaal</i>				
Totale ondergrondse voetafdruk	≈ 3,9 km ²	≈ 7,6 km ²	≈ 15,3 km ²	≈ 10,3 km ²
Zone B	≈ 1 km ²	≈ 0,5 km ²	≈ 2,5 km ²	≈ 0,8 km ²
Zone C	≈ 2,5 km ²	≈ 3,4 km ²	≈ 4,2 km ²	≈ 3,4 km ²
Centrale zone	≈ 0,4 km ²	≈ 3,7 km ²	≈ 8,6 km ²	≈ 6,1 km ²
Afstand tussen zones B en C	385 m	500 m	500 m	500 m
Bekleding	betonblokken en spuitbeton (ongeveer 3 m dik voor de toegangsgalerijen en ongeveer 1 m dik voor de bergingsgalerijen)	verankeringsbouten (2,5 m lang, aangebracht om de 2,5 m) en gelaste netten met spuitbeton (dikte: 20 cm in de bergings- galerijen en 5 cm elders)	verankeringsbouten (1,5 tot 3 m lang, aangebracht om de 1,5 tot 2 m) en gelaste netten met spuit- beton (dikte: 30 cm) (<i>mogelijk gebruik van betonblokken voor bepaalde delen van galerijen</i>)	verankeringsbouten (3 m lang, aangebracht om de 1,5 m) en gelaste netten

Bergingsgalerijen voor afval van categorie B (B-galerijen): kenmerken en bergingsconfiguraties

Doorsnede	rond	hoefijzervormig	ovaal	rechthoekig
				
Plaatsing van colli	achter elkaar	op/achter elkaar	op/achter elkaar	op/achter elkaar
Afmetingen	3,5 m nuttige diameter	≈ 16 m × 16 m	≈ 10 m × 11 m	≈ 10 m × 5 m
Lengte	verschillende lengten, max. 400 m	≈ 300 m	≈ 300 m	≈ 300 m
Aantal	37	38	114	93
Vulmateriaal	cementmateriaal	cementmateriaal	cementmateriaal	(geen opvulling)

Bergingsgalerijen voor afval van categorie C (C-galerijen): kenmerken en bergingsconfiguraties

Doorsnede	rond	hoefijzervormig	rond	vierkant
				
Plaatsing van colli	achter elkaar	in afzonderlijke verticale schachten gegraven aan de basis van de galerijen	achter elkaar	achter elkaar
Afmetingen	3 m nuttige diameter	5,5 m × 5,5 m	2,5 m diameter	3 m × 3 m
Lengte	verschillende lengten, max. 400 m	500 m	500 m	500 m
Aantal	42	310	341	327
Vulmateriaal	cementmateriaal	bentoniet ¹	bentoniet	verbrijzeld uitgegraven materiaal ²

Materialen voor volledige sluiting

Afdichtingen	beton en bentoniet	beton en bentoniet	beton en bentoniet	beton en andere materialen
Opvulling van de centrale zone	cementmateriaal	verbrijzeld uitgegraven materiaal	bentoniet en zand of verbrijzeld uitgegraven materiaal	verbrijzeld uitgegraven materiaal
Opvulling van de toegangen	cementmateriaal en grind	verbrijzeld uitgegraven materiaal	verbrijzeld uitgegraven materiaal	verbrijzeld uitgegraven materiaal

¹ Kleisoort.² Het verbrijzelde uitgegraven materiaal is afkomstig van het uitgraven van de ondergrondse installatie in de gastformatie en niet van het uitgraven van de toegangen.

9.1.3 Fasering en sluiting

Een project voor geologische berging wordt in verschillende fasen over verscheidene decennia uitgevoerd. Traditioneel wordt er, vanaf de toekenning van de nucleaire oprichtings- en exploitatievergunning, een onderscheid gemaakt tussen een korte fase voor het voorbereiden van de site, de bouw-, exploitatie- en volledige sluitingsfase, met tot slot een fase waarin de site in een onbebouwde of minder bebouwde staat wordt hersteld. Die fasen worden allemaal uitgevoerd in de periode vóór de sluiting, onderhevig aan voortdurende monitoring (deel 9.5). De periode na de sluiting is de periode van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem, die in het begin in principe ook wordt gemonitord (zie ook figuur 4 in deel 2.3).

Fase voor het voorbereiden van de site De fase waarin de site wordt voorbereid, verwijst naar de activiteiten die voorafgaan aan de start van de grote bouwwerken, zoals grondwerken en de inrichting van de basisinfrastructuur.

Bouwfase De bouwfase heeft betrekking op de eigenlijk bouw van de bovengrondse installaties en de ondergrondse installatie met haar toegangen.

Exploitatiefase De exploitatiefase betreft de exploitatie van de bovengrondse installaties en de plaatsing van de bergingscolli in de ondergrondse installatie, evenals de sluiting van de bergingszones. Die sluiting bestaat uit het opvullen van de bergings- en toegangsgalerijen en het aanbrengen van de waterdichte tussenafdichtingen om op termijn het preferentiële transport van radionucliden en chemische contaminanten in de installatie te voorkomen.

Volledige sluitingsfase Zodra alle afval in de ondergrondse installatie is geplaatst, kunnen de installatie en haar toegangen volledig worden gesloten. Ze worden dan volledig opgevuld en afgedicht, ofwel onmiddellijk, ofwel na een monitoringperiode, in één keer of in stappen, zonder dat een eventuele uitgestelde sluiting de veiligheid in gevaar zou brengen. Het doel van de volledige sluiting is om:

- menselijke indringing te voorkomen;
- het bergingssysteem in zijn definitieve staat te brengen, waarmee het zijn doel, namelijk mens en milieu op een passieve manier beschermen, effectief realiseert.

Fase waarin de site in een onbebouwde of minder bebouwde staat wordt hersteld De periode vóór de sluiting eindigt met een fase van volledige of gedeeltelijke afbraak van de bovengrondse installaties, zodat de site weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat wordt hersteld.

Periode na de sluiting Tijdens de periode na de sluiting is er geen menselijk ingrijpen meer nodig om de veiligheid blijvend te garanderen. De volledig gesloten installatie wordt echter in principe in het begin onderworpen aan een monitoring, die geen invloed mag hebben op de algehele veiligheid van het systeem. Vervolgens worden er inspanningen geleverd om de herinnering aan het bestaan van de ondergrondse installatie in stand te houden.

Het Belgische typeconcept scheidt in de tijd de activiteiten in verband met het afval van categorie B van de activiteiten die verband houden met het afval van categorie C en voorziet bovendien in een strikte opeenvolging van bouw- en exploitatiefasen, die elk 20 jaar duren (figuur 15). De Britse typeconcepten daarentegen voorzien in een quasi volledige overlapping van bouw- en exploitatiefasen, met een exploitatieduur van 150 jaar. Dat heeft alles te maken met de veel grotere afvalinventaris.



Figuur 15 – Belangrijkste activiteitenfasen van het Belgische typeconcept voor geologische berging in galerijen.

9.2 Scherpstellen van ideeën

Gelet op de grote verschillen tussen de vier typeconcepten is het voor de beschrijvende beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen noodzakelijk om de ideeën met betrekking tot het voorwerp van de beoordeling scherp te stellen: er zijn aannames en parameterwaarden nodig (zie 9.2.1), alsook een inventaris van de belangrijkste uitvoeringsactiviteiten die in beschouwing worden genomen (zie 9.2.2), vermits hiervan wordt aangenomen dat ze mogelijk milieueffecten hebben van hetzelfde type als die vastgesteld aan het einde van de *scoping*-procedure (zie 6.1.2).

9.2.1 Aannames en waarden van dimensioneringsparameters

De in de milieueffectenbeoordeling gehanteerde aannames, waarvan sommige opzettelijk ongunstig zijn, en de waarden van enkele belangrijke dimensioneringsparameters hangen af van een deskundig oordeel en van de beschikbare gegevens. De waarden van de Britse typeconcepten worden ter indicatie omgezet naar de Belgische referentie-inventaris. Deze aannames en waarden zijn enkel bedoeld om de ideeën scherp te stellen over wat de geologische berging in galerijen van de referentie-inventaris in België zou kunnen inhouden. Ze lopen niet vooruit op de precieze kenmerken van een toekomstig project voor geologische berging.

Fasering

De timing is de indicatieve timing van het Belgische typeconcept (figuur 15 in deel 9.1.3) [NIRAS 2018b]. De verschillende activiteitenfasen volgen elkaar netjes op, zonder overlapping, en de bergingsinstallatie wordt op het eind van de exploitatie volledig gesloten.

Activiteiten die op de bergingsite worden uitgevoerd en niet daarbuiten

- *Postconditionering van het afval*: het afval wordt gepostconditioneerd, dat wil zeggen in zijn bergingscontainer geplaatst, op de bergingsite en niet op de tijdelijke opslagsite(s); het voldoet bij aankomst op de bergingsite aan de criteria van de nucleaire exploitatievergunning voor de postconditioneringsinstallatie en er hoeven hier dus geen handelingen te worden uitgevoerd om het conform te maken (herverpakking, herconditionering enz.).

- *Productie van beton en cementmaterialen:* het beton dat nodig is voor de bouw van de bovengrondse installaties, de ondergrondse installatie en haar toegangen, de cementmaterialen die nodig zijn voor het maken van de bergingscontainers en de materialen (we veronderstellen hier allemaal cementmaterialen) die nodig zijn voor het opvullen van de uitgegraven volumes, worden op de bergingssite gemaakt van grondstoffen die op de bergingssite worden aangevoerd.

Bouwtechnieken

- De ondergrondse toegangen lopen door watervoerende lagen. Voor het uitgraven van de toegangen moeten de watervoerende lagen daarom tijdelijk worden bevroren, totdat de geplande bekleding werd aangebracht.
- Zolang de hydrogeologische kenmerken van de bergingssite niet gekend zijn en het dus onmogelijk is om de noodzakelijke toepassing van technieken zoals slibwanden en bronbemalingen voor de bouw van de bovengrondse installaties te beoordelen, worden deze technieken buiten beschouwing gelaten.

Uitgegraven materialen

De uitgegraven materialen worden op de bergingssite bewaard. Ze worden niet hergebruikt als vulmateriaal voor de ondergrondse installatie of van de site afgevoerd om elders te worden toegepast.

Voetafdruk en diepte

- Bovengrondse voetafdruk van de site: 1 km², waarvan 0,4 km² ondoorlatend zou worden gemaakt, namelijk:
 - ▶ ongeveer 0,1 km² voor wegen, parkeerplaatsen en bovengrondse installaties;
 - ▶ ongeveer 0,3 km² voor of door de opslag van uitgegraven materialen.
- Ondergrondse voetafdruk:
 - ▶ Belgisch typeconcept: 3,9 km²;
 - ▶ Britse typeconcepten: 1,9 tot 2,6 km².
- Diepte:
 - ▶ Belgisch typeconcept: 400 meter;
 - ▶ Britse typeconcepten: 500 tot 650 meter.

Materiaalvolumes

- Het egaliseren van de site genereert geen overtollige aarde en vereist geen aanvoer van aarde van buitenaf.
- De materiaalvolumes die in beschouwing worden genomen, zijn (tabel 9)
 - ▶ de volumes van uitgegraven materialen (waarvan wordt aangenomen dat ze in hun geheel op de bergingssite worden opgeslagen);
 - ▶ de volumes beton die nodig zijn voor de bouw van de ondergrondse installatie en haar toegangen en de volumes cementmaterialen die nodig zijn voor het maken van de bergingscontainers en de opvulling van de installatie en haar toegangen, waarbij wordt aangenomen dat het opvullen gebeurt met cementmaterialen.

Andere materiaalvolumes, meer bepaald die welke nodig zijn voor de bouw van de bovengrondse installaties, worden in dit stadium buiten beschouwing gelaten.

Waterverbruik

De verhoudingen van het water dat nodig is voor de productie van beton en cementmaterialen worden als volgt geraamd:

- 0,15 volume water per volume beton of cementmateriaal dat nodig is voor de bouw van de ondergrondse installatie, haar toegangen en de bergingscontainers;
- 0,35 volume water per volume cementmateriaal voor het opvullen.

Tabel 9 – Samenvattende voorlopige beoordeling van de materiaalvolumes die in beschouwing worden genomen bij de uitvoering van een oplossing voor geologische berging in galerijen voor het Belgische typeconcept en volgens de Britse typeconcepten omgezet naar de Belgische referentie-inventaris.

	Volgens het Belgische typeconcept [m ³]	Volgens de Britse generieke typeconcepten [m ³]
Materialen die op de bergingssite moeten worden opgeslagen		
Uitgegraven materialen	1 300 000	960 000 – 1 590 000
Materialen die op de bergingssite moeten worden geproduceerd		
Beton	680 000	118 000 – 248 000
Cementmaterialen		
Bergingscontainers B	41 000	0 ¹
Bergingscontainers C	42 000	0 ¹
Opvulling zone B	140 000	0 ² – 132 000
Opvulling zone C	280 000	540 000 – 1 890 000
Volledige sluiting	94 000	gegevens niet beschikbaar

¹ In de Britse typeconcepten komt het afval in gepostconditioneerde vorm op de bergingssite aan.

² De bergingsgalerijen voor afval van categorie B worden in het Britse typeconcept met evaporiet niet opgevuld.

Transporten

- De transporten die hier in beschouwing worden genomen, zijn uitsluitend de *transporten van radioactief afval* en de *transporten van grondstoffen* die nodig zijn voor de productie van
 - ▶ beton voor de bouw van de ondergrondse installatie en haar toegangen;
 - ▶ cementmaterialen voor het maken van de bergingscontainers;
 - ▶ materialen (we veronderstellen hier allemaal cementmaterialen) die nodig zijn voor het opvullen van zones B en C;
 - ▶ materialen die nodig zijn voor het opvullen van de centrale zone en toegangen.

De transporten die nodig zijn voor het aanvoeren van materialen voor de bovengrondse installaties (niet beoordeelde volumes) en van andere soorten materialen, zoals staal, worden in dit stadium buiten beschouwing gelaten.

- Het transport vindt plaats over de weg, in vrachtwagens van 10 m³, op werkdagen.
- De transporten worden gelijkmatig gespreid over de duur van elk van de activiteitenfasen waarop ze betrekking hebben.

9.2.2 Activiteiten die tijdens de verschillende fasen in beschouwing worden genomen

De uitvoering van een oplossing voor geologische berging in galerijen kan, zodra de nucleaire vergunning voor oprichting en exploitatie werd verkregen, worden onderverdeeld in verschillende grote activiteitenfasen (figuur 16). De geselecteerde activiteiten zijn het resultaat van een deskundig oordeel: het betreft de activiteiten die het meest waarschijnlijk één of meer significante effecten zullen hebben van de milieueffecten waarvoor aan het einde van de *scoping*-procedure werd vastgesteld dat ze in het SEA onderzocht moeten worden (deel 6.1.2). De effecten van deze en andere uitvoeringsactiviteiten die in dit stadium buiten beschouwing

worden gelaten, zullen in een later stadium van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling nader onderzocht moeten worden.

De milieueffecten van de activiteiten om de site na volledige sluiting van de bergingsinstallatie en de toegangen weer in een onbebouwde of minder bebouwde staat te herstellen, waarover de volgende generaties zullen moeten beslissen, zullen eveneens in een later stadium worden beoordeeld, voor zover dat redelijkerwijs mogelijk is.



Figuur 16 – Overzicht van de belangrijkste activiteiten die in beschouwing worden genomen tijdens de verschillende fasen van de uitvoering van een installatie voor geologische berging in galerijen tot de volledige sluiting ervan, alsook de periode na sluiting, waarin geen activiteiten nodig zijn om de veiligheid te garanderen. Het herstellen van de site in een onbebouwde of minder bebouwde staat bovengronds wordt in het SEA buiten beschouwing gelaten (deel 6.1.2.1). De transporten, die een transversale activiteit zijn doorheen alle activiteitenfasen, worden hier niet vermeld.

9.3 Milieueffectenbeoordeling voor de perioden vóór en na de sluiting

De milieueffectenbeoordeling voor de perioden vóór en na de sluiting is hoofdzakelijk beschrijvend van aard. Die verloopt in twee fasen:

- tijdens de eerste fase worden de uitvoeringsactiviteiten bepaald die a priori ten minste één significant milieueffect hebben (deel 9.3.1);
- vervolgens worden tijdens de tweede fase de effecten van de activiteiten die op het einde van de eerste fase werden geselecteerd iets gedetailleerder onderzocht, net als de effecten van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting ervan (deel 9.3.2).

Naargelang de keuzes die tijdens de screeningprocedure werden gemaakt en de resultaten daarvan, worden een reeks effecten(families) buiten beschouwing gelaten (deel 6.1.1),

- ofwel omdat *hun beoordeling in dit stadium niet relevant is*, ofwel omdat zo'n beoordeling *in dit stadium onmogelijk is*, omdat die afhangt van toekomstige keuzes, zoals de keuze van het soort gastformatie en de keuze van de bergingssite, maar ook van de technologieën die beschikbaar zullen zijn op het moment dat het bergingsproject wordt uitgevoerd;
- ofwel omdat *wordt verondersteld dat het effect zelf niet relevant of verwaarloosbaar is*.

In beide gevallen zullen deze effecten in een later stadium van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling opnieuw onder de loep worden genomen. Zo zullen bijvoorbeeld voor de hand liggende effecten waarvan de beoordeling in dit stadium niet relevant of onmogelijk is — zoals het effect op de lucht, het effect van lawaai en stof op de mens, het effect op menselijke activiteiten of de wijziging van het landschap — in een later stadium worden beoordeeld en zal het veronderstelde niet relevante karakter of de verwaarloosbaarheid van andere effecten worden nagegaan.

Bij de milieueffectenbeoordeling wordt ervan uitgegaan dat alle activiteiten die nodig zijn voor de uitvoering van een oplossing voor geologische berging in galerijen tot en met de volledige sluiting van de ondergrondse installatie en haar toegangen onder de normale geplande omstandigheden verlopen. Met andere woorden, er wordt geen rekening gehouden met eventuele incidenten of ongevallen, dus ook niet met mogelijke accidentele verontreinigingen. Dergelijke situaties zullen in een later stadium van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling aan bod komen, meer bepaald in het veiligheidsdossier. Voor de periode vóór de sluiting wordt er bovendien bij de beoordeling van uitgegaan dat de contextuele elementen die nodig zijn om een bergingsoplossing in goede omstandigheden uit te voeren (met bijvoorbeeld kennisoverdracht, beschikbaarheid van financiering of vredestand) mettertijd in stand blijven.

Een toekomstig project voor geologische berging zal worden ontwikkeld overeenkomstig de bepalingen van het wettelijke en reglementaire kader, in het bijzonder de bepalingen inzake leefmilieu en stralingsbescherming, die over verschillende decennia evolueren. Dit is een *conditio sine qua non* voor het verkrijgen van de nodige vergunningen voor de uitvoering ervan, in overeenstemming met de goede praktijken en volgens beproefde technieken op het gebied van veiligheid, beveiliging en milieubescherming.

9.3.1 Bepalen van de uitvoeringsactiviteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben

Het bepalen van de activiteiten voor uitvoering van een geologische berging in galerijen die a priori ten minste één significant milieueffect hebben, gebeurt door systematisch de belangrijkste activiteiten te toetsen aan de verschillende effecten waarvan aan het einde van de *scoping*-procedure werd vastgesteld dat ze voor de periode vóór de sluiting in het SEA onderzocht moeten worden (deel 6.1.2.1).

Uit die oefening komen er drie groepen van uitvoeringsactiviteiten naar voren (tabel 10):

- de activiteiten die a priori *ten minste één (ongunstig) significant milieueffect hebben*:
 - ▶ de klassieke voorbereiding van de bergingssite;
 - ▶ de voorbereiding van de opslagzone voor de uitgegraven materialen op de bergingssite;
 - ▶ de bouw van de bovengrondse installaties;
 - ▶ de opslag van de uitgegraven materialen op de bergingssite;
 - ▶ de plaatsing van het afval van categorie C in de bergingsinstallatie.Deze activiteiten worden onderzocht in deel 9.3.2.
- de activiteiten die a priori *geen significante milieueffecten hebben, maar die* niettemin meer in detail worden onderzocht in deel 9.3.2 omdat ze betrekking hebben op *radioactief afval*:
 - ▶ de postconditionering van het afval van categorie B;
 - ▶ de plaatsing van het afval van categorie B in de bergingsinstallatie;
 - ▶ de postconditionering van het afval van categorie C.
- de andere activiteiten, die hieronder worden toegelicht.

Tabel 10 – Identificatie van de activiteiten voor uitvoering van een geologische berging in galerijen die a priori ten minste één significant milieueffect hebben en vooronderzoek naar de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting.

x: het (negatieve) effect is significant;
 ?: het is niet mogelijk om te beoordelen of er al dan niet sprake is van een significant (negatief) effect;
 (x): het effect is van voorbijgaande aard;
¹ er wordt geen enkel effect op de menselijke gezondheid verwacht, maar dit punt wordt in deel 9.3.2 niettemin kort toegelicht vanuit het oogpunt van de stralingsbescherming.
 Activiteiten die geen significant effect zouden hebben, worden aangeduid met een groen vakje.

	Effectenfamilies			Individuele effecten		
	Effecten op het oppervlaktewater	Effecten op het grondwater	Effecten op de bodem	Aanrijking van de ondergrond	Wijziging van de ondergrondtemperatuur	Effect op de menselijke gezondheid
PERIODE VÓÓR DE SLUITING						
1. Voorbereiding van de site						
Klassieke voorbereiding	x		x			x
Voorbereiding opslagzone voor uitgegraven materialen	x		x			x
2. Bouw centrale zone en zone B						
Exploitatie betoncentrale - waterverbruik	?	?				
Bouw bovengrondse installaties	x		x			x
Bevriezing bodem/ondergrond (in watervoerende lagen)						
Uitgraving toegangen		?				
Wandbekleding toegangen						
Uitgraving centrale zone en zone B		?				
Wandbekleding centrale zone en zone B						
Opslag uitgegraven materialen ter plaatse	x		x			x
Behandeling van infiltratiewater en percolaten						
3. Exploitatie zone B en sluiting						
Exploitatie betoncentrale - waterverbruik	?	?				
Postconditionering B-afval						¹
Plaatsing B-afval						¹
Opvullen en afdichten						
Behandeling van infiltratiewater en percolaten						
4. Bouw zone C						
Exploitatie betoncentrale - waterverbruik	?	?				
Uitgraving zone C		?				
Wandbekleding zone C						
Opslag uitgegraven materialen ter plaatse	x		x			x
Behandeling van infiltratiewater en percolaten						
5. Exploitatie zone C en sluiting						
Exploitatie betoncentrale - waterverbruik	?	?				
Postconditionering C-afval						¹
Plaatsing C-afval		(x)		(x)		¹
Opvullen en afdichten						
Behandeling van infiltratiewater en percolaten						
6. Volledige sluiting						
Exploitatie betoncentrale - waterverbruik	?	?				
Opvullen en afdichten van toegangsgalerijen en toegangen						
PERIODE NA DE SLUITING						
7. Evolutie na sluiting						
Natuurlijke evolutie van het bergingssysteem		(x)		x	(x)	¹

De activiteiten voor uitvoering van een geologische berging in galerijen waarvan de milieueffecten in dit stadium als verwaarloosbaar worden beschouwd en waarbij geen radioactief afval betrokken is, evenals de activiteiten waarvoor bepaalde soorten effecten niet kunnen worden beoordeeld, worden hieronder summier beschreven, met een korte motivering. Er wordt eveneens kort ingegaan op de *transportactiviteit*.

Waterverbruik voor de exploitatie van de betoncentrale De milieueffecten van het waterverbruik voor de exploitatie van de betoncentrale kunnen niet worden beoordeeld omdat hun herkomst (stadswaterleiding of water dat op of in de buurt van de bergingssite ondergronds of bovengronds wordt afgenomen) onbekend is, evenals de verhouding tussen de benodigde hoeveelheid water en de hoeveelheid water die bovengronds of ondergronds beschikbaar is, rekening houdend met de natuurlijke aanvulling door neerslag. In het geval van afname op of in de buurt van de site, hangen de effecten in grote mate af van de hydrogeologische kenmerken van de site en zijn bovengrondse en ondergrondse omgeving. Het is hoogstens mogelijk om een eerste inschatting te maken van de gemiddelde hoeveelheden water die per werkdag tijdens de verschillende activiteitenfasen worden verbruikt, binnen de grenzen van de gehanteerde aannames (tabel 11).

Het waterverbruik voor de betoncentrale kan, als het water op of in de buurt van de site wordt afgenomen en naargelang dit bovengronds of ondergronds gebeurt, het oppervlaktewaterpeil of zelfs de structurele kenmerken van de waterlopen veranderen, of de stroming van het grondwater en/of het peil of de stijging ervan beïnvloeden.

Tabel 11 – Gemiddelde watervolumes die per werkdag tijdens de verschillende activiteitenfasen worden verbruikt (zie deel 9.2.1 voor de aannames). De waarden voor de drie typeconcepten van de Britse studie werden omgezet naar de Belgische referentie-inventaris.

	Bouw zones B en C [40 jaar]		Exploitatie zone B [20 jaar]		Exploitatie zone C [20 jaar]		Volledige sluiting [5 jaar]	
	Te produceren [m ³]	Water/ werkdag [m ³]	Te produceren [m ³]	Water/ werkdag [m ³]	Te produceren [m ³]	Water/ werkdag [m ³]	Te produceren [m ³]	Water/ werkdag [m ³]
Beton								
BE	680 000	10						
UK	118 000– 248 000	2–4						
Cementmaterialen voor de bergingscontainers								
BE			41 000	1	42 000	1		
UK								
Cementmaterialen voor opvulling								
BE			140 000	10	280 000	20	94 000	26
UK			0–132 000	0–9	540 000– 1 890 000	38–132	niet beschikbaar	
Totaal per werkdag								
BE		10		11		21		26
UK		2–4		0–9		38–132		

Tijdelijke bevrozing van de bodem en ondergrond voor het uitgraven van de toegangen tot de ondergrondse installatie Afhankelijk van het watergehalte van de doorgestoken geologische formaties, kan het voor het uitgraven van de toegangen tot de ondergrondse installatie nodig zijn om de bodem en/of ondergrond te bevrozen om de waterdichtheid en de stabiliteit van de wanden tijdens de graafwerken te garanderen. Die bevrozing is tijdelijk en de waterdichte vriesbuizen kunnen worden geïsoleerd om bevrozing te

beperken buiten het gebied, met een diameter van enkele tientallen meter, begrensd door de vriesbuizen.

Gezien deze overwegingen en de zeer beperkte laterale extensie van de tijdelijk bevroren gebieden, wordt verondersteld dat de bevroering van de bodem en ondergrond geen significante milieueffecten heeft onder de effecten die onderzocht moeten worden.

Uitgraven van de toegangen en gelijktijdig aanbrengen van een bekleding Omdat de mechanische stabiliteit van de toegangen tot een ondergrondse installatie gewaarborgd moet blijven tot hun volledige sluiting, wordt op de wanden een bekleding aangebracht die hun stabiliteit en, waar nodig, hun waterdichtheid garandeert. De aard van die bekleding verschilt naargelang het soort toegang, de diameter en de kenmerken van de doorgestoken geologische formaties. De chemische interacties tussen die bekleding en de doorgestoken formaties hebben een zeer beperkte ruimtelijke extensie. Tot slot moet de uitvoering van een project voor geologische berging in wezen de aantasting van de aquitards door de vorming van een hydraulische verbinding tussen de watervoerende lagen voorkomen.

Gezien deze overwegingen en het feit dat de diameter van de toegangen tot een ondergrondse installatie zeer klein is in vergelijking met de extensie van de doorgestoken formaties, wordt verondersteld dat deze toegangen geen significante milieueffecten hebben onder de effecten die onderzocht moeten worden.

Zonder de kenmerken van de doorgestoken geologische formaties te kennen, is het echter niet mogelijk om een uitspraak te doen over het mogelijke effect van waterinfiltratie via de wanden van de toegangen op de grondwaterstroming en op een mogelijke verlaging van het grondwaterpeil.

Uitgraven van de ondergrondse installatie en gelijktijdig aanbrengen van een bekleding De ondergrondse installatie wordt gebouwd in een gastformatie, op enkele honderden meters onder de oppervlakte. De kenmerken hiervan en van de geologische omgeving moeten ertoe bijdragen dat de beweging van het water in de bergingsinstallatie wordt beperkt. Het uitgraven gebeurt met behulp van industriële technieken, die waar nodig worden aangepast.

Net als de toegangen moeten de wanden van de uitgegraven volumes stabiel zijn tijdens de bouwwerken en gedurende de exploitatie. Daarom wordt op de wanden doorgaans een bekleding aangebracht in de vorm van betonblokken en/of spuitbeton (tabel 8 in deel 9.1.2) om ze te stabiliseren. De chemische interacties tussen die bekleding en de gastformatie hebben een zeer beperkte ruimtelijke extensie. Omdat waterinfiltratie in de ondergrondse installatie tijdens de bouw- en exploitatiefasen in kleifformaties en kristallijne gesteenten niet kan worden uitgesloten, helpen de bekleding in deze formaties en het afdichten van scheuren deze waterinfiltratie eveneens te beperken.

Gezien deze overwegingen en het feit dat de goede werking van het bergingssysteem vereist dat de oorspronkelijke kenmerken van de gastformatie zoveel mogelijk behouden blijven tijdens het uitgraven, worden de graafwerken zelf en het aanbrengen van de wandbekleding geacht geen significante invloed te hebben op de gastformatie en haar geologische omgeving en worden ze, meer in het algemeen, geacht geen significante milieueffecten te hebben onder de effecten die onderzocht moeten worden. Zonder de kenmerken van de gastformatie en haar geologische omgeving te kennen, is het evenwel niet mogelijk om een uitspraak te doen over het mogelijke effect van waterinfiltratie op de grondwaterstroming en op een mogelijke verlaging van het grondwaterpeil.

Opvullen en afdichten van de ondergrondse installatie en haar toegangen Het opvullen en afdichten van de ondergrondse installatie en haar toegangen is onder meer bedoeld om mechanische vervormingen van de gastformatie en de door de toegangen doorgestoken geologische formaties te beperken en op termijn het preferentiële transport van radionucliden en chemische contaminanten in de installatie en haar toegangen te voorkomen. De gebruikte materialen zijn gangbare materialen zoals beton, cementmaterialen, grind en bentoniet en, in

de Britse typeconcepten, materialen die tijdens de bouwwerken uit de gastformatie worden gehaald en die worden verbrijzeld voordat ze weer worden 'teruggeplaatst'.

Gezien deze overwegingen en het feit dat de gebruikte materialen niet van dien aard zijn dat ze de eigenschappen van de geologische omgeving waarin ze worden toegepast significant zullen verstoren, worden het opvullen en het afdichten van de ondergrondse installatie en haar toegangen geacht geen significante milieueffecten te hebben onder de effecten die onderzocht moeten worden.

Behandeling van infiltratiewater in de ondergrondse installatie en van de percolaten van de uitgegraven materialen Het infiltratiewater in de ondergrondse installatie en de percolaten van de uitgegraven materialen worden in daarvoor geschikte bovengrondse installaties behandeld voordat het behandelde water wordt gerecycleerd of op een gecontroleerde manier wordt geloosd.

Aangezien de kwaliteit van het behandelde water aan de geldende normen moet voldoen, worden de behandelingsactiviteiten geacht geen significante milieueffecten te hebben onder de effecten die onderzocht moeten worden.

Transport De milieueffecten van de transporten naar de bergingssite, die een transversale activiteit zijn doorheen alle activiteitenfasen, kunnen niet worden beoordeeld omdat ze grotendeels afhangen van de af te leggen afstanden en de gebruikte vervoermiddelen. Het is waarschijnlijk dat ze geen significante milieueffecten hebben onder de effecten die in dit stadium onderzocht moeten worden. Een eerste beoordeling van het indicatieve gemiddelde aantal vrachtwagentransporten van radioactief afval en bouw- en vulmaterialen die nodig zijn tijdens de verschillende activiteitenfasen is wel mogelijk, binnen de grenzen van de gehanteerde aannames (tabel 12).

Tabel 12 – Indicatief gemiddeld aantal vrachtwagentransporten (radioactief afval, grondstoffen voor de productie van beton en cementmaterialen) naar de bergingssite die nodig zijn tijdens de verschillende activiteitenfasen (zie deel 9.2.1 voor de aannames). De waarden voor de drie typeconcepten van de Britse studie werden omgezet naar de Belgische referentie-inventaris.

Bouw zones B en C [40 jaar]			Exploitatie zone B [20 jaar]		Exploitatie zone C [20 jaar]		Volledige sluiting [5 jaar]	
	Totaal volume	Transp./ werkdag	Transporten of totaal vol.	Transp./ werkdag	Transporten of totaal vol.	Transp./ werkdag	Totaal volume	Transp./ werkdag
Afval								
BE			4 811	1	521	< 1		
Beton								
BE	680 000 m ³	7						
UK	118 000– 248 000 m ³	1–3						
Cementmaterialen voor de bergingscontainers								
BE			41 000 m ³	1	42 000 m ³	1		
UK								
Cementmaterialen voor opvulling								
BE			140 000 m ³	3	280 000 m ³	6	94 000 m ³	8
UK			0–132 000 m ³	0–3	540 000– 1 890 000 m ³	11–38	niet beschikbaar	
Totaal per werkdag								
BE		7		5		7		8
UK		1–3		0–3		11–38		

9.3.2 Beoordeling van de effecten van de activiteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben en beoordeling van de natuurlijke evolutie van het systeem

De milieueffecten van de activiteiten die a priori ten minste één significant effect hebben en van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting (tabel 13) worden beoordeeld:

- door elk van deze activiteiten systematisch te toetsen aan de verschillende effecten die in het SEA onderzocht moeten worden voor de periode vóór de sluiting (deel 6.1.2.1), waarbij zoveel mogelijk een onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende effecten op het oppervlaktewater, het grondwater en de bodem, en
- door de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting te onderzoeken op wat betreft de effecten die in het SEA voor die periode onderzocht moeten worden (deel 6.1.2.2).

Tabel 13 – Beoordeling van de effecten van de activiteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben en van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting.

x: het (negatieve) effect is significant;

(x): het effect is van voorbijgaande aard;

¹ hoewel er geen enkel effect op de menselijke gezondheid wordt verwacht, wordt dit punt niettemin toegelicht vanuit het oogpunt van de stralingsbescherming.

	Effectenfamilies																			Individuele effecten			
	Effecten op het oppervlaktewater						Effecten op het grondwater						Effecten op de bodem										

Activiteiten die a priori ten minste één significant milieueffect hebben, worden hieronder summier beschreven, met een korte beoordeling van de betreffende effecten (zie deel 9.2.1 voor de gehanteerde aannames en waarden van de dimensioneringsparameters) en voorbeelden van mogelijke mitigerende maatregelen, dit zijn maatregelen die bedoeld zijn om negatieve effecten te voorkomen, te beperken en op te heffen. De verwachte significante effecten zijn omwille van het conceptuele en generieke karakter van het Plan niet kwantificeerbaar.

Vorbereitung van de bergingssite, met inbegrip van de opslagzone voor de uitgegraven materialen, de bouw van de bovengrondse installaties en de opslag van de uitgegraven materialen ter plaatse

De activiteiten voor de klassieke voorbereiding van de bergingssite, de voorbereiding van de zone die bestemd is voor de opslag van de uitgegraven materialen ter plaatse, de bouw van de bovengrondse installaties en de opslag van de uitgegraven materialen ter plaatse genereren dezelfde soorten significante effecten: effecten op het oppervlaktewater, de bodem en de fauna en flora. Ze zijn qua aard vergelijkbaar met de effecten van de voorbereiding van een klassiek industrieterrein en de bouwactiviteiten op dergelijke terreinen. Zij worden geacht geen significante milieueffecten te hebben op het grondwater, de ondergrond en de menselijke gezondheid.

- De afbakening van een bergingssite met een oppervlakte van ongeveer één vierkante kilometer door het plaatsen van een omheining verandert de ecologische verbindingen (versnippering en barrière-effect) en heeft dus een effect op de fauna.
- Het ruimen van de begroeiing van de oppervlakte, geraamd op 0,4 km², die nodig is voor de bovengrondse installaties, wegen, parkeerplaatsen en voor de opslag van de uitgegraven materialen, samen met de bijbehorende wijzigingen in bodemgebruik, leiden tot het verlies van ecotopen (de kleinste homogene landschapseenheid) en, afhankelijk van het soort gebied waarin de site zich bevindt (industriegebied, natuurgebied enz.), in het verlies van ecologische niches. Het weghalen van de begroeiing en het gewijzigde bodemgebruik hebben dus een effect op de fauna en flora.
- Voor de voorbereiding van de site, meer bepaald voor de aanleg van wegen en parkeerplaatsen, de bouw van de bovengrondse installaties en de opslag van de uitgegraven materialen, zijn egaliseringswerken nodig. Die werken kunnen de bodem, en dan vooral het infiltratievermogen en het profiel ervan, aantasten en een effect hebben op de fauna en flora.
- De aanleg van wegen en de bouw van de bovengrondse installaties houden de facto het ondoorlatend maken van die oppervlakken in en leiden tot min of meer ingrijpende grondzettingen. Het waterdicht maken van de opslagzone voor de uitgegraven materialen en de eigenlijke opslag van die materialen leiden tot dezelfde effecten.
 - ▶ Het feit dat de site deels ondoorlatend wordt gemaakt, kan resulteren in een verminderde opvang en retentie van het regenwater, waardoor het sneller afvloeit naar het oppervlaktewater, waardoor het oppervlaktewaterpeil verandert. Die ondoorlatendheid vermindert voorts de infiltratiecapaciteit van de bodem en wijzigt de hydraulische eigenschappen ervan.
 - ▶ Grondzettingen verstoren het bodemprofiel en veranderen de structuur ervan.

Mitigerende maatregelen

De omvang van de milieueffecten hangt af van de kenmerken van het gebied waar de bergingssite zich bevindt en is a priori kleiner in een industriegebied dan in een natuurgebied, waar de grond amper door menselijke activiteit is aangetast. Ongeacht de locatie kunnen echter mitigerende maatregelen worden getroffen om die omvang te beperken. Bijvoorbeeld:

- het gebruik van een doorlatende verharding voor de parkeerplaatsen, wat de infiltratie van regenwater bevordert, en het controleren van het afvloedebiet van het water dat van de site afvloeit, kunnen de negatieve effecten van het ondoorlatend maken beperken;
- de uitgegraven materialen die op de site worden opgeslagen, kunnen als een visueel scherm fungeren en de bovengrondse installaties verbergen; de materiaaltaluds die de toekomstige generaties een definitieve bestemming zouden geven, kunnen worden ingepast in een landschapsstrategie die op maat van de site wordt bedacht en die bevorderlijk is voor een herontwikkeling van de flora en fauna;
- naargelang de gastformatie en het bergingsconcept en volgens de keuzes die worden gemaakt voor de inrichting van de site, kunnen de uitgegraven materialen (waarvan voor het SEA wordt verondersteld dat ze volledig op de site worden opgeslagen) in werkelijkheid ten minste gedeeltelijk als vulmateriaal voor de ondergrondse installatie worden gebruikt, of kunnen — en zelfs moeten — ze van de site worden afgevoerd. De kristallijne en kleiachtige uitgegraven materialen kunnen immers op de site worden opgeslagen in de vorm van permanente taluds. Ze kunnen eveneens worden gebruikt voor het opvullen van (delen van) de ondergrondse installatie, of van de site worden afgevoerd om elders te worden toegepast. Anderzijds moeten de uitgegraven evaporietmaterialen worden gebruikt voor het opvullen van (delen van) de ondergrondse installatie of van de site worden afgevoerd, omdat ze oplosbaar zijn.

Postconditionering van het afval van de categorieën B en C en plaatsing van het afval van categorie B in de bergingsinstallatie

De postconditionering van het afval van de categorieën B en C, waarvan wordt aangenomen dat die op de bergingsite gebeurt (zoals in het Belgische typeconcept), bestaat uit het verpakken van het geconditioneerde afval in speciale containers, zodat de aldus verkregen bergingscolli de kenmerken en eigenschappen hebben die tijdens de ontwikkeling van het bergingssysteem werden vooropgesteld. De postconditionering van het afval van categorie C bijvoorbeeld, maakt het mogelijk om de chemische omgeving van dit afval onder controle te houden.

De postconditioneringsactiviteiten en de activiteiten voor het plaatsen van het gepostconditioneerde afval in de bergingsinstallatie hebben geen significante milieueffecten onder de effecten die onderzocht moeten worden. Het effect op de menselijke gezondheid in het bijzonder wordt als verwaarloosbaar beschouwd. Dat komt omdat:

- de postconditioneringsactiviteiten op afstand worden uitgevoerd om de medewerkers tegen straling te beschermen; ze mogen ook geen vloeibare of gasvormige radioactieve lozingen tot gevolg hebben;
- de manutentie van de bergingscolli de medewerkers niet blootstelt aan ioniserende straling, ofwel omdat deze colli een afschermende functie hebben (Belgisch typeconcept), ofwel omdat de manutentie van op afstand wordt uitgevoerd.

Deze beweringen moeten in het veiligheidsdossier voor de postconditioneringsinstallatie en voor de bergingsinstallatie worden aangetoond aan de hand van de geplande procedures voor de exploitatiefasen.

Plaatsing van het afval van categorie C in de bergingsinstallatie

De plaatsing van het afval van categorie C in de bergingsinstallatie houdt handelingen in van hetzelfde type als bij de plaatsing van het afval van categorie B en heeft evenmin significante effecten onder de effecten die onderzocht moeten worden, afgezien van de effecten als gevolg van de opwarming door het afval van categorie C.

De warmte die door het afval van categorie C wordt afgegeven, leidt van bij de exploitatiefase tot een geleidelijke en tijdelijke stijging van de temperatuur van de ondergrondse installatie,

de gastformatie en haar omgeving. Die temperatuurstijging, die in het veiligheidsdossier wordt onderzocht, moet worden beperkt zodat de temperatuur van het grondwater de wettelijk toegestane grenswaarde niet overschrijdt en het insluitings- en afzonderingsvermogen van het systeem niet in het gedrang komt.

De maximumtemperaturen in de verschillende barrières — die verschillen naargelang van de materialen die voor de kunstmatige barrières worden toegepast en het soort gastformatie — kunnen meer bepaald worden beperkt door de duur van de tijdelijke opslag van het afval, en dus zijn afkoeltijd, te verlengen en/of door meer afstand te laten tussen de bergingscolli in de bergingsgalerijen en/of tussen de bergingsgalerijen.

Natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de sluiting

Zodra het bergingssysteem wordt gesloten, kan het effectief zijn doel realiseren, namelijk mens en milieu op een passieve manier beschermen. Er is geen verder menselijk ingrijpen meer nodig en er wordt geen significant bovengronds effect verwacht. Een tijdelijke stijging van de temperatuur van de ondergrond en het grondwater, evenals een verandering in een deel van de ondergrond zijn evenwel onvermijdelijk.

De periode na de sluiting overspant twee fasen: de enkele duizenden jaren waarin het afval van categorie C warmte afgeeft en de periode daarna.

- De warmte die door het afval van categorie C wordt afgegeven, leidt tot een geleidelijke en tijdelijke stijging van de temperatuur van de ondergrondse installatie, de gastformatie en haar omgeving. Die warmteafgifte kan eveneens resulteren in de uitzetting van de ondergrond en, na enkele duizenden jaren, tot de langzame en tijdelijke stijging van het grondoppervlak met enkele centimeters, maar ook een geringe en tijdelijke temperatuurstijging van de bodem en van het oppervlaktewater. Al die verschillende effecten, die in een later stadium van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling zullen worden beoordeeld, kunnen in voorkomend geval worden beperkt door een oordeelkundig bergingsontwerp (zie hierboven, onder *Plaatsing van het afval van categorie C in de bergingsinstallatie*).
- De verwachte natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na de volledige sluiting ligt in dezelfde lijn, ongeacht het concept en de gastformatie. Radionucliden — waarvan de radioactiviteit na verloop van tijd afneemt — en chemische contaminanten worden ingesloten, vertraagd en voor zeer lange tijd afgezonderd, allereerst door een reeks speciaal ontworpen kunstmatige barrières en vervolgens, nadat die barrières langzaam zijn gedegradeerd, door de gastformatie. Op nog langere termijn kunnen geringe concentraties van radionucliden en chemische contaminanten uit de gastformatie migreren naar andere geologische lagen en de biosfeer.

De verwachte natuurlijke evolutie van het bergingssysteem wordt beschreven in het zogenaamde 'referentiescenario', dat in het veiligheidsdossier wordt uiteengezet. Dat moet op overtuigende wijze aantonen dat het gesloten bergingssysteem voldoet aan de veiligheidsnormen en bijgevolg in alle omstandigheden en zolang als nodig is mens en milieu zal beschermen tegen de risico's die het afval met zich meebrengt. Dit scenario is een *omvattende* weergave van verschillende mogelijke evoluties van het systeem, met onder meer de meest waarschijnlijke evolutie, in tijd en in ruimte. De onzekerheden met betrekking tot het referentiescenario worden beoordeeld, wat kan leiden tot de ontwikkeling van andere scenario's (zie ook deel 11.1.1 over de robuustheid).

Het belangrijkste milieueffect van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem op lange termijn is een verandering in de gastformatie, meer bepaald van een deel van de diepe ondergrond. Die verandering is het gevolg van het vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten in de gastformatie zodra de kunstmatige barrières hun insluitingsvermogen verliezen. Dit vrijkomen is zelf onderdeel van de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem en moet in het veiligheidsdossier worden onderzocht. De effecten van het vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten op andere delen van de

ondergrond en op het grondwater moeten daarentegen — en dit is een vereiste voor het ontwerp van bergingssystemen — verwaarloosbaar zijn. Het veiligheidsdossier moet op een overtuigende manier aantonen dat de hoeveelheid radionucliden die uiteindelijk vrijkomt in andere delen van de ondergrond van dezelfde grootteorde is als de hoeveelheid die daar van nature aanwezig is en dat de concentratie van de vrijgekomen chemische contaminanten onder de toegestane normen blijft. A fortiori moeten de effecten van het vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten in de biosfeer op zeer lange termijn verwaarloosbaar zijn.

Gezien deze overwegingen heeft de aanwezigheid van een geologische berging geen effect op de menselijke gezondheid. De naleving van de regels en limieten die door het reglementaire kader voor stralingsbescherming en milieubescherming worden opgelegd, zal ervoor zorgen dat de effecten ervan zeer gering en in ieder geval te verwaarlozen zullen zijn in vergelijking met de gemiddelde blootstellingsniveaus van de bevolking, meer bepaald de blootstelling aan stralingen.

9.4 Beoordeling van de milieueffecten bij een uitbreiding van de referentie-inventaris

De verwachte milieueffecten bij een uitbreiding van de referentie-inventaris zijn in wezen *van dezelfde aard* als die welke voor de referentie-inventaris worden verwacht, ongeacht of de kenmerken van het bijkomende afval al dan niet vergelijkbaar zijn met die van het afval dat nu al in de referentie-inventaris is opgenomen (zie ook hoofdstuk 11 voor overwegingen over het vermogen van een geologische-bergingsoplossing om een verandering in de referentie-inventaris te ondervangen). De nieuwe soorten afval die in deze inventaris zouden worden opgenomen, kunnen evenwel specifieke operationele veiligheidsmaatregelen en de inrichting van extra bergingszones in de ondergrondse installatie vereisen, met specifieke kunstmatige barrières, waarmee in het veiligheidsdossier op passende wijze rekening moet worden gehouden.

Een uitbreiding van de referentie-inventaris zou ervoor zorgen dat de *omvang* van bepaalde effecten, die rechtstreeks verband houden met de uitbreiding van de benodigde bergingscapaciteit, *groter* zou worden, meer bepaald

- een grotere totale ondergrondse voetafdruk van de bergingsinstallatie;
- een toename van de hoeveelheden uitgegraven materialen die bovengronds moeten worden opgeslagen, wat de voetafdruk van de bergingssite bovengronds zou kunnen vergroten.

Tot slot zouden sommige effecten, naargelang de bouw- en exploitatieactiviteiten worden opgedreven en/of over een langere periode worden gespreid en afhankelijk van het soort afval, in omvang toenemen en/of langer aanhouden, meer bepaald

- de effecten van de toegenomen hoeveelheden bouw- en vulmaterialen die nodig zijn en in het bijzonder van de transporten die nodig zijn om de grondstoffen aan te voeren;
- de effecten die verband houden met de productie van beton en cementmaterialen, en in het bijzonder met een toename van de benodigde hoeveelheden water;
- de effecten in verband met de thermische belasting bij een toename van de hoeveelheid afval die warmte afgeeft.

Het bergingssysteem zou echter nog steeds zo worden ontworpen dat de bescherming van mens en milieu zo lang als nodig is wordt gewaarborgd, wat in het veiligheidsdossier beargumenteerd en aangetoond moet worden.

9.5 Opvolg- of monitoringmaatregelen

Overeenkomstig de wet van 3 juni 2014 ter omzetting van de richtlijn 2011/70/Euratom in het Belgische recht [België 2014] zullen de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijn-beheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval op een later tijdstip moeten worden aangevuld met monitoringmaatregelen, voor een nader te bepalen periode. Die monitoring mag geen invloed hebben op de veiligheid van het bergingssysteem. Deze bepaling is in overeenstemming met artikel 17 van de wet van 13 februari 2006 [België 2006], dat bepaalt dat NIRAS de aanzienlijke gevolgen voor het milieu van de uitvoering van het Plan nagaat, onder meer om onvoorziene negatieve gevolgen in een vroeg stadium te kunnen identificeren en de passende herstellende maatregelen te kunnen nemen.

Het programma voor de monitoring van de milieueffecten van de uitvoering van het Plan zal worden ontwikkeld zodra de bergingssite is gekozen, in overeenstemming met de bepalingen van het op dat moment geldende reglementaire kader en met de goede internationale praktijken. Dit programma zal worden opgenomen in de nucleaire vergunningsaanvraag voor de oprichting en de exploitatie van de bergingsinstallatie.

Het is echter mogelijk om het toekomstige monitoringprogramma nu al in grote lijnen te schetsen: het zal bestaan uit niet-radiologische en radiologische metingen, zowel op als buiten de bergingssite, vanaf de selectie van de site tot na de volledige sluiting van de bergingsinstallatie en haar toegangen, zolang de toekomstige generaties die wensen voort te zetten.

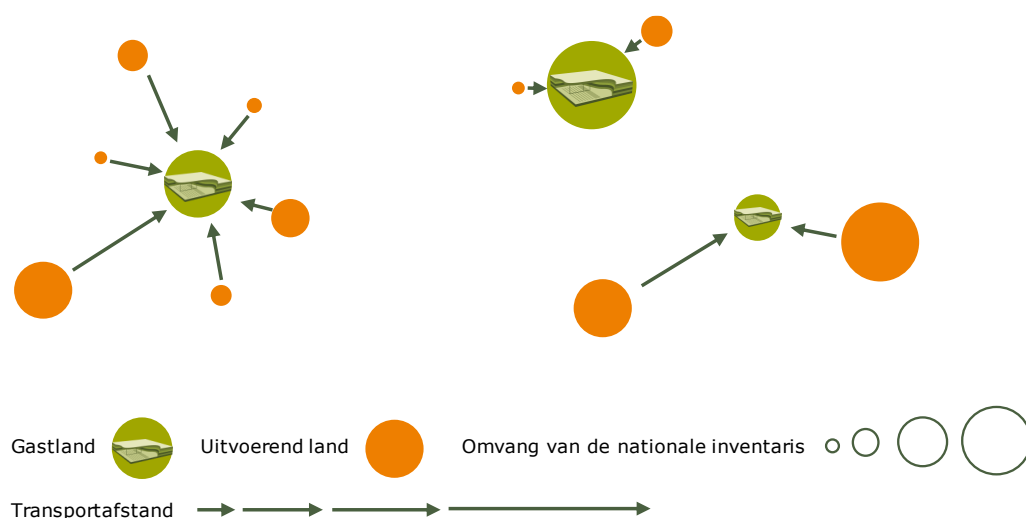
- **Van siteselectie tot de start van de bouwwerken** De monitoring die van bij de selectie van de site wordt ingevoerd, zal als basis dienen voor het aanleggen van een volledige database van de *begincondities* op de site en in de omgeving, zodat vervolgens de evolutie van de waarden van belangrijke parameters van de effecten kan worden opgevolgd, in het bijzonder de effecten op het oppervlakte- en grondwater, de bodem en de ondergrond, de biologische diversiteit, de lucht en het geluidsniveau. Die monitoring omvat bepaalde metingen die bovengronds worden uitgevoerd, maar ook in proefboringen die tijdens het siteselectieproces worden geboord en die worden aangepast voor de monitoring van de ondergrond en het grondwater.
- **Periode vóór de sluiting** Het monitoringprogramma voor de periode vóór de sluiting zal worden aangevuld en uitgebreid zodat het de bovengrondse installaties, de ondergrondse installatie en haar toegangen bestrijkt. De site zal aan een specifieke radiologisch toezicht moeten worden onderworpen om na te gaan of bijvoorbeeld de lucht in de nucleaire installaties en de gasvormige en vloeibare lozingen niet besmet zijn.

De bergingssite zal ook worden ingeschakeld in het programma voor radiologisch toezicht van het grondgebied van het FANC [FANC 2019]. Dit programma omvat een algeheel toezicht van het grondgebied, buiten de zones waar een belangrijke nucleaire activiteit wordt uitgeoefend, en een nauwgezette monitoring rond de nucleaire sites waar een activiteit wordt uitgeoefend die een radiologisch effect op het milieu kan hebben. Het voorziet in een reeks metingen van de niveaus van kunstmatige en natuurlijke radioactiviteit, zoals metingen van de radioactiviteit in de lucht, het regenwater, het oppervlakte- en drinkwater, de bodem, de riviersedimenten en producten in de voedselketen (melk, vlees, vis, groenten).

- **Periode na de sluiting** Hoewel dit niet absoluut noodzakelijk is, zal de monitoring in principe tijdens de natuurlijke evolutie van het bergingssysteem worden voortgezet gedurende een periode die door de toekomstige generaties wordt bepaald. Dat zal in principe gepaard gaan met inspanningen om de herinnering aan de plaats van de ondergrondse installatie in stand te houden.

9.6 Beoordeling van de milieueffecten van een multinationale geologische berging in galerijen

Het algehele milieueffect van een multinationale — of gedeelde — oplossing voor geologische berging in galerijen is a priori kleiner dan de som van de milieueffecten van de verschillende nationale geologische-bergingsoplossingen, die in het kader van het multinationale partnerschap niet langer nodig zijn. In de praktijk zal het verschil tussen dit globale effect en de som van de afzonderlijke effecten echter in belangrijke mate afhangen van de basiskennmerken van het partnerschap: aantal partnerlanden, respectieve inventarissen van het radioactieve afval, afstanden tussen de gedeelde bergingssite in het gastland en de tijdelijke opslagsites in de uitvoerende landen enz. (figuur 17).



Figuur 17 – Schematische voorstelling van verschillende mogelijke partnerschapsconfiguraties bij de uitvoering van een gedeelde berging.

Hoewel het bij gebrek aan concrete gegevens onmogelijk is om de globale milieubalans van een gedeelde-bergingsoplossing op te stellen in verhouding tot de som van de afzonderlijke balansen van de nationale bergingsoplossingen die deze vervangt, is het wel mogelijk een gedachtegang te volgen naargelang de rol van de landen die rechtstreeks bij het partnerschap betrokken zijn: het gastland, het land of de landen die hun afval naar het gastland uitvoeren en het eventuele land of de landen waar het afval wordt doorgevoerd.

Aangezien een gedeelde geologische berging in galerijen conceptueel gelijkwaardig is aan een nationale geologische berging in galerijen, zijn de milieueffecten ervan in wezen van dezelfde aard. De beschrijvende beoordeling van de milieueffecten van het delen van een bergingsoplossing door verschillende landen slaat dus op de — positieve en negatieve — verschillen, in vergelijking met de situatie waarin elk van de partnerlanden zijn eigen bergingsoplossing zou uitvoeren. Die verschillen komen vooral tot uiting in de klassieke milieueffecten. Vermits een gedeelde geologische berging moet voldoen aan dezelfde internationale eisen en normen inzake radiologische veiligheid, en meer bepaald aan dezelfde Europese normen voor stralingsbescherming [Europese Raad 2013], als de nationale geologische-bergingsoplossingen, worden de bovengrondse nucleaire installaties en de ondergrondse installatie ontworpen en geëxploiteerd op maat van de inventaris van het te beheren afval, zodat de radiologische gevolgen onder de toegestane limieten blijven.

Milieueffecten voor het gastland

Negatieve:

- de klassieke effecten van de bouw van nieuwe wegen- of spoorweginfrastructuren die eventueel nodig zijn;
- toename van de intensiteit en/of de duur van de klassieke effecten
 - ▶ van de afvaltransporten;
 - ▶ van de uitvoering van alle installaties die nodig zijn voor gedeelde geologische berging;
- mogelijke toename van de risico's voor de operatoren bij de manutentie van het afval omwille van de grotere volumes.

Positieve:

- sanering van mogelijke (radiologisch) verontreinigde sites of andere positieve acties voor het milieu wanneer een deel van de inkomsten uit de uitvoerende landen daar naartoe vloeit.

Milieueffecten voor het uitvoerende land of de uitvoerende landen

Positieve:

- de klassieke effecten van de uitvoering van het volledige scala aan installaties die nodig zijn voor een nationale geologische berging worden vermeden;
- vermindering van de milieurisico's, met name voor landen met een kleine oppervlakte, waar de keuze van een geschikte site en gastformatie eventueel te eng is, en/of de technische, wetenschappelijke en financiële middelen te beperkt zijn, waardoor de tijdelijke opslag van hun afval langer zou duren.

Milieueffecten voor het eventuele doorvoerland of de doorvoerlanden

Negatieve:

- de klassieke gevolgen van de doorvoer van afval.

Tot slot geven we nog mee dat als België mee in een partnerschap zou stappen voor de ontwikkeling van een gedeelde geologische-bergingsoplossing en zo'n oplossing concreet vorm zou krijgen, dit zou leiden tot een toename of, integendeel, een afname van de milieueffecten in vergelijking met een nationale bergingsoplossing voor zijn eigen afval, afhankelijk van het feit of het al dan niet een gastland voor die gedeelde berging wordt.

10 Beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in diepe boorgaten

Aangezien de werkzaamheden voor geologische berging in diepe boorgaten op internationaal vlak veel minder ver gevorderd zijn dan die voor geologische berging in galerijen, is de beoordeling van de milieueffecten van de optie van geologische berging in diepe boorgaten noodzakelijkerwijs beperkter dan die van geologische berging in galerijen. Deze beoordeling gaat uit van de veronderstelling — louter theoretisch, omdat de kennisbasis weinig ontwikkeld is — dat geologische berging in diepe boorgaten technisch uitvoerbaar is en dat de operationele en langetermijnveiligheid ervan overtuigend kan worden aangetoond.

Aangezien een systeem van geologische berging in diepe boorgaten op hetzelfde soort ontwerpprincipes berust als een systeem van geologische berging in galerijen, zouden de verwachte significante milieueffecten van berging in diepe boorgaten vergelijkbaar zijn met die van berging in galerijen (tabel 13), maar een verschillende omvang hebben, naargelang van de effecten.

Net als in het geval van geologische berging in galerijen zouden de effecten van de periode vóór de sluiting van de bergingsinstallatie in diepe boorgaten (de periode tot de sluiting van het laatste boorgat en het herstel van de site in een minder of niet bebouwde staat) voornamelijk te maken hebben met de voorbereiding van de bergingssite, met inbegrip van de voorbereiding van de opslagzone voor de uitgegraven materialen, met de bouw van de bovengrondse installaties en met de opslag van de uitgegraven materialen op de bergingssite. Hoewel het niet mogelijk is deze effecten uitvoeriger te beschrijven voor diepe boorgaten dan voor berging in galerijen, is het wel mogelijk, voorlopig en louter als indicatie, een schatting te geven van de bodemvoetafdruk van de bergingssite en van het totale volume van de uitgegraven materialen. Deze schatting is gebaseerd op een uiterst vereenvoudigd typeconcept van berging in diepe boorgaten. Elk andere benadering zou puur speculatief zijn. België heeft immers geen eigen ervaring met de ontwikkeling van geologische berging in diepe boorgaten en de informatie uit de literatuur is heterogeen en nog amper gevalideerd op internationaal vlak.

Het uiterst vereenvoudigde typeconcept van geologische berging in diepe boorgaten — dat uitgaat van de momenteel niet onderbouwde veronderstelling dat deze beheeroptie zowel uitvoerbaar als veilig is — kan als volgt worden beschreven (zie figuur 8 in deel 3.2.1):

- de boorgaten worden gegroepeerd op een enkele bergingssite;
- de boorgaten zijn verticaal en 5 kilometer diep;
- de bergingshoogte in elk boorgat bedraagt 2 kilometer, dat wil zeggen een nuttige hoogte van 1,9 kilometer om rekening te houden met de cumulatieve hoogte van de tussenafdachtingen in de bergingszone;
- de boorgaten hebben een diameter van 0,7 m tot 1,5 m;
- de totale boorgathoogte die nodig is om al het afval van de referentie-inventaris te bergen, wordt berekend op basis van de lengtes van de verschillende soorten bestaande en geplande afvalcolli, zonder rekening te houden met diameterkwesaties;
- de afvalcolli worden in niet-gespecificeerde bergingsverpakkingen geplaatst, waarmee geen rekening wordt gehouden bij de berekening van de voor de berging vereiste boorgathoogte;
- zodra de bergingszone van een boorgat gevuld is, wordt het boorgat opgevuld en afgedicht met materialen van het type dat gebruikt wordt voor het opvullen en afdichten van de toegangen tot bergingsinstallaties in galerijen;
- de boorgaten liggen op 0,2 km afstand van elkaar.

Op deze bases zou de voetafdruk van de bergingssite ongeveer 1,5 km² bedragen. Voor de berging van het afval van categorie B en het afval van categorie C zouden respectievelijk 17 en 20 diepe boorgaten moeten worden gegraven. Het totale uit te graven volume zou tussen 70 000 m³ en 330 000 m³ liggen, terwijl dat van de opvulling tussen 42 000 m³ en 200 000 m³ zou liggen.

11 Robuustheid en flexibiliteit van een geologische-bergingsoplossing

De robuustheid en flexibiliteit van geologische-bergingsoplossingen voor geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval zijn twee van hun essentiële kenmerken. Voor de geologische berging in galerijen zijn ze aantoonbaar (deel 11.1), terwijl ze (voorlopig) alleen theoretisch mogelijk zijn bij een geologische berging in diepe boorgaten (deel 11.2).

11.1 Geologische berging in galerijen

Volgens de internationale consensus is de geologische berging in galerijen robuust (deel 11.1.1), dat wil zeggen dat kan worden aangetoond dat het vermogen om de bescherming van mens en milieu te waarborgen zolang als dat nodig is, niet onaanvaardbaar wordt aangetast door verschillende soorten ontwikkelingen, meer bepaald dankzij de redundantie van de verschillende kunstmatige en natuurlijke barrières, en kan die flexibel zijn (deel 11.1.2), wat betekent dat die veranderingen in de referentie-inventaris van het afval kan ondervangen.

11.1.1 Robuustheid

Een goed ontworpen en uitgevoerd systeem voor geologische berging in galerijen — met inbegrip van de keuze van de gastformatie en de plaats van de berging in die formatie — is robuust ten aanzien van de evoluties die zich in de periode na de sluiting zullen voordoen. Dat is een van de aspecten die moeten worden aangetoond in het veiligheidsdossier dat bij elke aanvraag voor een nucleaire vergunning voor de oprichting en exploitatie van een bergingsinstallatie wordt voorgelegd. De methoden en kennis om dit soort demonstraties uit te voeren, zijn zowel in België als internationaal voorhanden en zijn het voorwerp van voortdurende samenwerking en evaluatie. De evoluties die in beschouwing worden genomen, zijn:

- *natuurlijke evoluties*: de keuze van een geschikte gastformatie en plaats is belangrijk om het afval in een stabiele omgeving te kunnen plaatsen (bijvoorbeeld lage seismiciteit) en uit de greep van natuurlijke bovengrondse evoluties (bijvoorbeeld opwarming van de aarde, glaciatie of overstromingen);
- *evolutie van het systeem die verschilt van de verwachte evolutie*: de keuze van de gastformatie en de kunstmatige barrières vormen samen een multibarrièresysteem. De verschillende barrières werken op een complementaire en onafhankelijke manier, zodat de werking van het systeem niet onaanvaardbaar wordt beïnvloed door evoluties zoals verzwakking of voortijdig falen van een kunstmatige barrière;
- *niet-natuurlijke externe gebeurtenissen*: de keuze van een geschikte plaats (voldoende diep, laag risico op een conflictsituatie voor het gebruik van de ondergrond) speelt een belangrijke rol bij het plaatsen van het afval buiten het bereik van bovengrondse niet-natuurlijke externe verstoringen (bijvoorbeeld een explosie of een neerstortend vliegtuig); als de in stand te houden herinnering aan de bergingsplaats toch verloren zou gaan, kan een niet-natuurlijke externe verstoring in de diepte, zoals boringen doorheen de bergingsinstallatie, niet worden uitgesloten, maar het is wel uiterst onwaarschijnlijk dat dit gebeurt.

Omdat een geologische bergingsinstallatie na volledige sluiting geen menselijk ingrijpen vereist om veilig te zijn, is ze, ten slotte, *niet gevoelig voor maatschappelijke veranderingen* en dus ook niet voor risico's zoals een verminderde reglementaire opvolging, het verdwijnen van de exploitant, het wegsijpelen van kennis, het opdrogen van financiering of zelfs oorlog.

11.1.2 Flexibiliteit

Een oplossing voor geologische berging in galerijen is flexibel wat betreft de radiologische kenmerken van het te beheren afval, de afvalvolumes en de grootte van de bergingscolli (zie ook tabel 14 voor een meer gedetailleerde analyse):

- *radiologische kenmerken*: het afval dat aan de referentie-inventaris zou kunnen worden toegevoegd (deel 2.4), is van relatief vergelijkbare aard als het afval dat nu al in die inventaris is opgenomen of zou verenigbaar worden gemaakt met de voor de referentie-inventaris ontwikkelde bergingsoplossing; een geologische berging kan bovendien, indien nodig, zodanig worden ontworpen en geëxploiteerd dat afvalsoorten met verschillende kenmerken eventueel na elkaar in afzonderlijke bergingszones worden geplaatst;
- *volumes*: dankzij een oordeelkundige keuze van de gastformatie en de plaats van de bergingsinstallatie in die formatie zou de laterale continuïteit van de formatie voldoende zijn om de bergingscapaciteit zo nodig te vergroten;
- *grootte van de bergingscolli*: de toegangen tot de bergingszones van een geologische berging hebben een diameter van enkele meters, wat voldoende is voor de manutentie van gepostconditioneerde afvalcolli; omgekeerd kunnen de afmetingen van de bergingscolli voor nieuwe afvalsoorten tot op zekere hoogte worden bepaald op basis van de dimensionale kenmerken van de installatie en haar uitrustingen.

Tabel 14 – Analyse van de flexibiliteit van een oplossing voor geologische berging in galerijen.

Flexibiliteit met betrekking tot		
de radiologische kenmerken van het afval?	de afvalvolumes?	de grootte van de bergingscolli?
Afval van categorie A dat niet bovengronds kan worden geborgen		
OK Dit afval zou relatief vergelijkbaar zijn met sommig afval van categorie B.	OK Om een idee te geven, de overheveling van 5%, dit is 2 500 m ³ , van het geraamde volume afval van categorie A naar categorie B zou overeenkomen met een toename van 25% van het geraamde volume afval van categorie B (ongeveer 11 000 m ³ geconditioneerd).	OK
Radiumhoudend afval van Umicore (langlevend)		
OK Dit afval heeft radiologische kenmerken die vergelijkbaar zijn met die van sommig afval van categorie B (meer bepaald radiumhoudend afval).	OK Het eventuele volume (tot ongeveer 10 000 m ³ te verwerken en te conditioneren) zou een forse toename van het geraamde volume afval van categorie B betekenen.	OK
! De forse toename van het risico op radongasbesmetting zou specifieke maatregelen op operationeel niveau vereisen.		
Natuurlijk radioactieve stoffen (langlevend)		
<i>net als voor het radiumhoudende afval van Umicore</i>	OK Het eventuele volume (enkele honderden m ³ te verwerken en te conditioneren) zou slechts een geringe toename van het geraamde volume afval van categorie B betekenen.	OK
Afval afkomstig van toekomstige nucleaire installaties		
! Dit afval, dat momenteel niet gekend is, moet eventueel verenigbaar worden gemaakt met geologische berging door middel van een passende verwerking en conditionering.	OK	OK
Afval van de categorieën B en C als gevolg van een eventuele nieuwe verlenging van de kerncentrales		
OK Dit afval zou radiologische kenmerken hebben die vergelijkbaar zijn met die van het bestaande afval.	OK	OK

11.2 Geologische berging in diepe boorgaten

Aangezien de concepten voor een geologische berging in diepe boorgaten momenteel veel minder ver gevorderd zijn dan de concepten voor een geologische berging in galerijen, zowel wat betreft de te implementeren technologieën als het vermogen om de operationele en lange-termijnveiligheid ervan aan te tonen, zijn de robuustheid en flexibiliteit van deze beheeroptie op dit moment louter theoretisch.

Een systeem voor geologische berging in diepe boorgaten is, in theorie, robuust omdat het gebaseerd is op hetzelfde soort ontwerpprincipes als een systeem voor geologische berging in galerijen, maar het is vooralsnog niet mogelijk om die robuustheid aan te tonen.

Een geologische berging in diepe boorgaten is, eveneens in theorie, flexibel, zij het minder dan een oplossing voor geologische berging in galerijen:

- *wat betreft de radiologische kenmerken van het afval:* de flexibiliteit is dezelfde, om dezelfde redenen (tabel 14);
- *wat betreft de afvalvolumes:* in theorie is er totale flexibiliteit, aangezien het volstaat om het aantal boorgaten te verhogen volgens de volumes, maar in tegenstelling tot de berging in galerijen wordt de bovengrondse voetafdruk hier groter; in de praktijk heeft echter geen enkel land beslist om een inventaris van enkele duizenden kubieke meters afval in diepe boorgaten te bergen;
- *wat betreft de grootte van de bergingscolli:* de flexibiliteit wordt beperkt door de diameter die voor de boorgaten op de gewenste diepte kan worden gerealiseerd en door de vereiste mogelijkheid om zeer zware colli op grote diepte te plaatsen, waarbij moet worden vermeden dat die colli zouden vallen of vast komen te zitten.

12 Eindoverwegingen en aanbevelingen

De oplossing die NIRAS voorstelt voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, *namelijk een geologische-bergingssysteem op Belgisch grondgebied*, heeft tot doel in alle omstandigheden de bescherming van mens en milieu tegen de risico's van dit afval te verzekeren, door het zo lang als nodig is in te sluiten en af te zonderen van de biosfeer, zonder dat er herhaaldelijk menselijk ingrijpen nodig is. Wegens het conceptuele en generieke karakter van deze oplossing — die een plan vormt — is de milieueffectenbeoordeling ervan hoofdzakelijk beschrijvend van aard. Ze werd beperkt tot de effecten die in dit stadium het meest relevant lijken. Ze zal worden gevolgd door andere, meer specifieke en gedetailleerde beoordelingen van de milieueffecten van geologische berging die, uiteindelijk, geconcretiseerd zal worden door een of meer projecten. Op termijn zullen alle milieueffecten van het (de) voorgestelde bergingsproject(en) in detail beoordeeld zijn.

NIRAS heeft geen weet van de omgeving — bovengronds of ondergronds — waarin het Plan zal worden uitgevoerd, noch van de precieze inventaris van het afval dat er uiteindelijk bij betrokken zal zijn, noch van het uit te voeren technische project, noch, a fortiori, van de uitvoeringsmethodes. Daarom heeft ze de activiteiten voor de uitvoering van het Plan geïdentificeerd waarvan de kans het grootst lijkt dat ze aanzienlijke effecten zullen hebben, onder de effecten die onderzocht moeten worden, maar is ze in dit stadium niet in staat zich anders dan op een beschrijvende en kwalitatieve manier uit te spreken over de geïdentificeerde mogelijke effecten, noch om enig oordeel te vellen over de grootte ervan en de grootte van het gebied waarover de effecten zich uitstrekken.

De beoordeling van de milieueffecten van geologische berging in galerijen steunde op typebergingsconcepten in de drie soorten gastformaties die het vaakst onderzocht worden in de wereld, namelijk evaporieten, kristallijne gesteenten en kleifformaties. Ze ging ervan uit dat het afval in één enkele installatie en op één enkele site werd geplaatst, dat alle uitvoeringsactiviteiten volgens plan verliepen en dat de contextuele voorwaarden, bijvoorbeeld inzake reglementaire opvolging en financiering, die nodig zijn om een dergelijk project over een periode van ongeveer een eeuw tot een goed einde te brengen, mettertijd gehandhaafd zouden blijven. Elk ander scenario zou puur speculatief zijn. De evaluatie bleef overigens beperkt tot de gevolgen voor het oppervlakte- en grondwater, de bodem en de ondergrond, de menselijke gezondheid en de fauna en flora.

De activiteiten voor de uitvoering van geologische berging in galerijen, waarvan de kans het grootst lijkt dat ze aanzienlijke effecten zullen hebben, onder de effecten die onderzocht moeten worden, zijn de voorbereiding van de bergingssite, waarvan de bodemvoetafdruk in de orde van grootte van een vierkante kilometer zou liggen, en de bouw van de bovengrondse installaties, alsook de opslag ter plaatse van de materialen die tijdens de bouw van de ondergrondse installatie en de toegang tot deze installatie uitgegraven worden. De belangrijkste effecten zouden betrekking hebben op het oppervlaktewater en de bodem, op de fauna en flora. Het is in dit stadium niet mogelijk om zich uit te spreken over het effect, op het oppervlaktewater of het grondwater, van het gebruik van water voor de exploitatie van een betoncentrale op de bergingssite, noch over het effect van waterinsijpeling in de ondergrondse installatie op het grondwater.

De activiteiten die betrekking hebben op colli met radioactief afval, vóór de volledige sluiting van de bergingsinstallatie, hebben, onder de effecten die onderzocht moeten worden, geen significant milieueffect en de effecten ervan op de menselijke gezondheid in het bijzonder worden als verwaarloosbaar beschouwd. Dit zal moeten worden aangetoond in de veiligheidsdossiers, op basis van de geplande procedures voor de exploitatiefasen.

Ten slotte zullen de gevolgen van het vervoer in grote mate afhangen van de af te leggen afstanden en de gebruikte vervoermiddelen.

De natuurlijke evolutie van het bergingssysteem na sluiting zal, in de eerste duizenden jaren, leiden tot een tijdelijke stijging van de temperatuur van het grondwater en de ondergrond en, op langere termijn, tot een verandering van de gastformatie als gevolg van het langzaam en geleidelijk vrijkomen van radionucliden en chemische contaminanten uit de bergingsinstallatie. Elk bergingssysteem moet echter zodanig ontworpen worden dat, in alle omstandigheden, door de werking van de kunstmatige en natuurlijke barrières en door het radioactieve verval, elk significant effect van het vrijkomen van deze stoffen op de andere delen van de ondergrond, op het grondwater en, a fortiori, op de biosfeer vermeden wordt: de verwachte effecten van geologische berging op de menselijke gezondheid moet nihil of verwaarloosbaar zijn. De naleving van de regels en limieten die door het reglementaire kader voor stralingsbescherming en milieubescherming worden opgelegd, zal ervoor zorgen dat de effecten ervan zeer gering en in ieder geval te verwaarlozen zullen zijn in vergelijking met de gemiddelde blootstellingsniveaus, met name de blootstelling aan radioactieve straling, van de bevolking. Dit moet overtuigend worden aangetoond in het veiligheidsdossier.

De beoordeling van de milieueffecten bleef beperkt tot enkele algemene overwegingen inzake geologische berging in diepe boorgaten, aangezien dit soort berging nooit bestudeerd werd in België en de heterogeniteit en het gebrek aan eensluidende informatie in de literatuur geen beoordeling mogelijk maken die voldoende onderbouwd is. Er kan hoogstens gesteld worden dat de milieueffecten van berging in diepe boorgaten van dezelfde aard zouden zijn als die van berging in galerijen, met verschillen in omvang afhankelijk van de effecten.

Aangezien het Plan de bescherming van mens en milieu nastreeft, moeten de milieueffecten ervan worden gezien als een onvermijdelijk neveneffect van de uitvoering van het Plan, die tot een minimum moeten worden beperkt en zoveel mogelijk moeten worden afgezwakt. De uitvoering ervan zal afhankelijk zijn van de uitreiking van nucleaire en niet-nucleaire vergunningen die bevestigen dat aan de geldende normen is voldaan. Het niet uitvoeren van het Plan zal, daarentegen, vroeg of laat negatieve gevolgen hebben: de huidige situatie van veilige bovengrondse tijdelijke opslag zal uiteindelijk omslaan in een onveilige situatie, omdat het onmogelijk is tot in het oneindige een veilig actief beheer te handhaven. Dit zal ernstige gevolgen hebben voor mens en milieu.

Aangezien de resultaten van de milieueffectenbeoordeling van het Plan volgens NIRAS niet van dien aard zijn dat ze de teneur ervan, en dus de goedkeuring van een *geologische-bergingssysteem op Belgisch grondgebied* als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval, zullen beïnvloeden, vat NIRAS hieronder enkele *kernboodschappen van het SEA* samen, die verder gaan dan louter milieugerichte overwegingen, maar die haar voorstel onderbouwen, en deze overwegingen aanvullen.

Er bestaat geen redelijke vervangingsoplossing voor geologische berging

Volgens de internationale consensus onder de beheerders van radioactief afval en de veiligheidsoverheden, alsook binnen internationale organisaties, bestaat er geen redelijke vervangingsoplossing voor geologische berging voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. Deze oplossing werd gekozen door alle landen met een nationale beleidsmaatregel voor het langetermijnbeheer van het beschouwde afval. Ze is gebaseerd op vijftig jaar onderzoek, ontwikkeling en demonstratie op internationaal en nationaal niveau. Uit het onderzoek dat tot dusver in België is uitgevoerd, meent NIRAS dat het mogelijk zou zijn op Belgisch grondgebied een geologische-bergingsooplossing te realiseren die de bescherming van mens en milieu tegen de risico's van het afval verzekert.

Langdurige en eeuwigdurende opslag als oplossingen voor het langetermijnbeheer zijn in strijd met de bepalingen van de richtlijn 2011/70/Euratom en worden niet ontvankelijk geacht door het FANC, en om opslag om te zetten in berging zou er vanaf het begin een bergingssysteem ontworpen moeten worden waarin het afval gedurende een bepaalde periode kan worden

teruggenomen, zonder dat de keuzes die worden gemaakt om het terugnemen mogelijk te maken, nadelig zijn voor de veiligheid en de beveiliging.

Bovendien zijn geavanceerde scheidings- en transmutatietechnologieën geen technologieën voor het langetermijnbeheer van radioactief afval en zouden ze de noodzaak van een geologische-bergingsoplossing niet wegnemen, al was het maar omdat ze niet van toepassing zijn op het reeds bestaande afval. In de veronderstelling dat ze op industriële schaal kunnen worden uitgevoerd, in het beste geval binnen enkele decennia, vereisen ze het gebruik van een geavanceerde cyclus van kernenergie met opwerking, in België of in het buitenland. Een dergelijke cyclus zal zelf minstens een eeuw langlevend afval produceren.

Geologische berging op Belgisch grondgebied zou daarentegen de beste manier zijn om de bescherming van mens en milieu tegen de risico's van het afval op een robuuste en intrinsiek passieve wijze te verzekeren.

- *op wettelijk en reglementair vlak* Geologische berging voldoet, op het niveau van de principes, aan de algemene eisen van het wettelijke en reglementaire kader voor het beheer van radioactief afval en kan zo worden ontworpen en uitgevoerd dat ze voldoet aan de eisen van het wettelijke en reglementaire kader voor stralings- en milieu-bescherming.
- *op wetenschappelijk en technisch vlak* Er is voldoende vertrouwen dat de veiligheid van geologische berging kan worden aangetoond en dat ze met industriële technieken kan worden uitgevoerd.
- *op ethisch en maatschappelijk vlak* Geologische berging beperkt de lasten die aan de toekomstige generaties worden overgelaten tot een minimum, met name door hen te ontlasten van de verantwoordelijkheid voor het nemen van fundamentele beslissingen over het langetermijnbeheer van het afval en het waarborgen van de bijbehorende financiering.
- *op economisch en financieel vlak* Geologische berging kan worden gefinancierd volgens het zogenaamde beginsel 'de vervuiler betaalt', volgens welk de kosten van het beheer van radioactief afval moeten worden gedragen door diegenen die het hebben geproduceerd.
- *op het vlak van de flexibiliteit* Geologische berging kan worden toegepast op het afval van de mogelijke aanvullende inventaris, naast het feit dat ze van toepassing is op al het geconditioneerde hoogactieve en/of langlevende afval dat deel uitmaakt van de referentie-inventaris. Dit laatste afval is grotendeels onvermijdelijk: het bestaat al en is opgeslagen op de site van NIRAS in Dessel, die geëxploiteerd wordt door haar industriële dochteronderneming Belgoprocess, of is 'in wording', voornamelijk in de vorm van splijtstof die aanwezig is op de sites van de kerncentrales of delen van gebouwen en installaties waar activiteiten plaatsvinden waarbij gebruikgemaakt wordt van radioactiviteit.

Een geologische-bergingsoplossing is enkel in de periode voorafgaand aan de sluiting kwetsbaar voor contextuele onzekerheden. De uitvoering ervan veronderstelt dus dat alle nodige maatregelen worden genomen om deze kwetsbaarheid te beperken (behoud van de projectteams, overdracht van expertise en kennis tussen opeenvolgende generaties van teams, toereikendheid en beschikbaarheid van de financiering enz.).

Geologische berging op Belgisch grondgebied moet onverwijld op federaal niveau worden aangenomen als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van hoogactief en/of langlevend afval

NIRAS beveelt aan dat België *onverwijld geologische berging op Belgisch grondgebied aanneemt als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval* [NIRAS 2017, 2018a, 2019e]. Zolang deze beslissing niet is genomen:

- *op wettelijk en reglementair vlak:* België blijft in gebreke ten overstaan van bepaalde verplichtingen, in het bijzonder de bepaling van de Europese richtlijn 2011/70/Euratom, die de lidstaten verplicht nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van hun radioactieve afval te hebben. Zonder dergelijke beleidsmaatregelen is NIRAS niet in staat de nodige initiatieven te nemen om geleidelijk een bergingsoplossing te concretiseren en zo haar opdracht van openbare dienstverlening voor het beheer van radioactief afval volledig te vervullen.
- *op wetenschappelijk en technisch vlak:* De onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratie-activiteiten van NIRAS op het gebied van het langetermijnbeheer kunnen niet worden georganiseerd ten dienste van een duidelijk omschreven beheerbeleid: ze moeten dus volledig blijven steunen op werkhypothesen. De, met name financiële, middelen zouden dus kunnen dalen wegens het gebrek aan vooruitzichten. In dat geval zou de op nationaal vlak verworven expertise en knowhow, met name op het gebied van de kennis van het afval en de beoordeling van de performanties van een bergingssysteem, continuïteits-onderbrekingen kunnen kennen en bijgevolg geleidelijk achteruitgaan. Op termijn zouden de betrokken actoren dus aanzienlijke inspanningen moeten leveren (op financieel en menselijk vlak, qua tijd enz.) om de verworven kennis en ervaring, die nodig zijn voor de uitvoering van een veilig geologische-bergingssysteem, opnieuw te ontwikkelen. Het beheer van het afval vóór de geologische berging ervan wordt ook bemoeilijkt zolang de belangrijkste kenmerken van het bergingssysteem niet gekend zijn. Het is dus moeilijk om optimale keuzes te maken voor de verpakking/herconditionering van afval dat tijdens de opslag tekenen van aantasting vertoont, zonder dat de eindbestemming ervan bekend is.
- *op ethisch en maatschappelijk vlak:* België handelt niet in overeenstemming met de ethische beginselen van intergenerationele billijkheid door de lasten, voornamelijk op het vlak van de besluitvorming, financiën, ontwikkeling en uitvoering, die aan de toekomstige generaties worden overgelaten, niet tot een minimum te beperken; en de onzekerheid in de gemeenten waar het radioactieve afval en de verbruikte splijtstof momenteel tijdelijk opgeslagen liggen zou voortduren.

In haar tweede verslag over de vooruitgang van de uitvoering van de richtlijn 2011/70/-Euratom [Europese Commissie 2019] schrijft de Commissie: *"De lidstaten moeten actiever worden in het ontwikkelen van langetermijnoplossingen voor het beheer van middelactief afval, hoogactief afval en verbruikte splijtstof, onder meer door zo spoedig mogelijk onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratie-activiteiten uit te voeren, teneinde te voorkomen dat een te grote last op toekomstige generaties wordt gelegd. Op beleids- en technisch niveau moeten alle noodzakelijke maatregelen worden genomen om te voorkomen dat zich in de toekomst buitensporige vertragingen in de uitvoering van projecten voordoen. Daarom moeten alle lidstaten hun planning optimaliseren, voldoende middelen toewijzen, de noodzakelijke onderzoeks- en opleidingsactiviteiten uitvoeren en in contact treden met de bevolking en andere belanghebbenden om de uitvoering te versnellen."*

- *op economisch en financieel vlak:*
 - ▶ Het is voor NIRAS nog altijd onmogelijk haar ramingen van de kosten van het langetermijnbeheer van het afval te laten steunen op een technische oplossing die in nationale beleidsmaatregelen ingebed is. Het aannemen van geologische berging op Belgisch grondgebied als basis voor de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer zou de eerste van een reeks besluitvormingsstappen zijn die nodig zijn om een steeds preciezere raming van deze kosten te maken en een steeds nauwkeuriger toepassing van het beginsel 'de vervuiler betaalt' mogelijk te maken.
 - ▶ België loopt een toenemend risico op het ontstaan van nieuwe kosten. Bij de kosten van het beheer van het afval zullen immers de kosten komen die rechtstreeks voortvloeien uit het feit dat de huidige, als tijdelijk geplande opslag (de referentiesituatie), langer duurt dan werd ingeschat (kosten van de renovatie of vervanging

van opslaggebouwen, kosten om opgeslagen afval, dat mettertijd tekenen van aantasting vertoont, te herverpakken/herconditioneren enz.).

Als het Plan niet wordt uitgevoerd, en dus als de milieuproblematiek van het afval op lange termijn niet definitief wordt opgelost in de vorm van berging, zal de huidige situatie van tijdelijke bovengrondse opslag, die veilig kan blijven zolang er sprake is van een adequaat actief beheer, uiteindelijk — op een onmogelijk te voorspellen ogenblik — omslaan in een situatie waarin de bescherming van mens en milieu niet langer verzekerd is, als gevolg van een verslechterde beheercontext.

Het uitstellen van de goedkeuring van de basis van de nationale beleidsmaatregelen zal niet leiden tot een betere beslissing

Het goedkeuren van de basis van de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval betekent niet dat het onmiddellijk zal worden uitgevoerd op het terrein. De enkele decennia die nodig zullen zijn voor de tenuitvoerlegging van de vereiste processen (maatschappelijk overleg, besluitvorming, reglementaire processen enz.) om met de bouw van de geologische-bergingsinstallatie te beginnen, de nodige wetenschappelijke en technische kennis naargelang van de gemaakte keuzes aan te vullen en de bouw- en exploitatiefases voor te bereiden, zullen het de facto mogelijk maken rekening te houden met de relevante wetenschappelijke en technische vooruitgang en met de maatschappelijke eisen. Het uitstellen van de goedkeuring van de basis voor de nationale beleidsmaatregelen *zal dus niet leiden tot een betere beslissing*: de beslissing die in dit stadium moet worden genomen is louter strategisch en vormt slechts de eerste — maar onontbeerlijke — stap in een nog zeer lang stapsgewijs en participatief besluitvormingsproces dat nog moet worden vastgesteld. Pas daarna kan worden gepreciseerd waar, hoe en wanneer de bergingsoplossing zal worden uitgevoerd. Zonder deze eerste beslissing is NIRAS niet in staat de uitvoering van deze oplossing, waarvan het principe op internationaal niveau de consensus wegdraagt, voor te bereiden.

Geologische berging in diepe boorgaten zou een voordelige beheeroplossing kunnen vormen voor beperkte hoeveelheden afval waarvan men het terugnemen bijzonder moeilijk zou willen maken

In dit stadium beperkt de gevraagde beslissing over het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval zich tot het aannemen van de oplossing van geologische berging (op Belgisch grondgebied), zonder enige verduidelijking over de mogelijke rol van de optie van geologische berging in diepe boorgaten ten opzichte van de optie van geologische berging in galerijen. Het is echter hoogst waarschijnlijk dat geologische berging in diepe boorgaten slechts een mogelijke aanvulling vormt op geologische berging in galerijen en geen volwaardige vervangingsoptie.

Zelfs in de veronderstelling dat de Belgische ondergrond een of meer gastformaties bevat die mogelijk geschikt zijn voor berging in diepe boorgaten en er een geheel nieuw onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieprogramma voor dit soort berging wordt opgezet dat gunstige resultaten zou opleveren, is het immers zeer weinig waarschijnlijk dat het ooit mogelijk zal zijn om een groot deel van de bestaande en geplande colli met geconditioneerd laag- en middelactief langlevend afval (afval van categorie B) te plaatsen in diepe boorgaten, waarvan de afmetingen de huidige technologische mogelijkheden en de mogelijke ontwikkelingen ervan overstijgen. Bovendien is het momenteel niet mogelijk te bevestigen dat de bergingscolli zullen kunnen worden teruggenomen als ze vallen of boven de bergingszone vast komen te zitten, waardoor er een veiligheidsprobleem ontstaat. Het is a fortiori niet mogelijk te bevestigen dat ze zouden kunnen worden teruggenomen na de volledige sluiting van de boorgaten.

Geologische berging in diepe boorgaten vormt daarom, op dit ogenblik, geen langetermijnbeheeroptie voor de gehele referentie-inventaris en zal dat mogelijk ook nooit zijn. Ze zou

daarentegen een voordelige langetermijnbeheeroplossing kunnen zijn voor beperkte hoeveelheden afval die men liever nooit zou willen terugnemen, bijvoorbeeld om redenen van non-proliferatie.

De onzekerheden over de mogelijkheden van een adequate toepassing van de technologie van geologische berging in diepe boorgaten vormen geen belemmering voor de keuze van het principe van geologische berging als basis voor de nationale beleidsmaatregelen.

Een politieke beslissing ten gunste van gedeelde geologische berging zou België niet ontheffen van zijn verplichting om zijn nationale programma voor geologische berging voort te zetten en zou geen enkele garantie op een sneller resultaat bieden

Hoewel het internationale en Europese wettelijk en reglementair kader de oplossing van multinationale of gedeelde geologische berging onder bepaalde voorwaarden toestaat, is ze niet de referentieoplossing die in dit kader wordt aanbevolen. Het Gezamenlijk Verdrag van de IAEA (1997) en de richtlijn 2011/70/Euratom bepalen immers dat radioactief afval in principe moet worden geborgen in de Staat waar het is geproduceerd. De wet van 8 augustus 1980, zoals gewijzigd, bepaalt dat "*het op het Belgisch grondgebied geproduceerde radioactief afval [er wordt] geborgen*", tenzij aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan.

Overeenkomstig de bepalingen van het wettelijke en reglementaire kader stelt NIRAS een nationale oplossing voor, die op het nationale grondgebied moet worden uitgevoerd, voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval. De eventuele beslissing om België te engageren tot een initiatief dat gericht is op de ontwikkeling van een bergingsoplossing die het met een of meer andere landen zou delen, is een politieke beslissing en valt dus niet onder de bevoegdheid van NIRAS. Een deelname aan dergelijk initiatief zou België echter niet ontslaan van de verplichting om verder te werken aan zijn nationale bergingsprogramma totdat de gedeelde berging operationeel wordt, hetzij in het buitenland, hetzij in België. Volgens de internationale consensus moeten landen die deelnemen aan een initiatief om een gedeelde-bergingsoplossing te ontwikkelen immers hun eigen expertise ontwikkelen en werken aan een nationale oplossing waarop ze kunnen terugvallen voor hun eigen afval, volgens een zogenaamde *dual track*-aanpak. De levensvatbaarheid van een eventuele oplossing voor gedeelte berging onder Europese landen is in werkelijkheid beperkt door het feit dat ongeveer de helft van deze landen, waaronder die met de meest geavanceerde bergingsprogramma's, de invoer van buitenlands radioactief afval voor berging op hun grondgebied verbiedt.

Hoewel het totale milieueffect van een oplossing voor gedeelde geologische berging in galerijen a priori kleiner is dan de som van de milieueffecten van nationale geologische-bergingsinstallaties, die door het multinationale partnerschap vermeden zouden kunnen worden, blijkt uit de talrijke werkzaamheden over de kwestie van de ontwikkeling van gedeelde geologische-bergingsoplossingen dat de factor 'milieueffecten' nagenoeg afwezig is. Deze werkzaamheden hebben vooral betrekking op meer doorslaggevende kwesties, zoals de belangrijkste potentiële voordelen (schaalvoordelen, delen van wetenschappelijke en technische middelen enz.), de objectieve nadelen (grotere afstanden voor het vervoer van radioactief afval, noodzaak om rekening te houden met een grotere verscheidenheid aan afval enz.) en de uitdagingen die verbonden zijn aan de realisatie van dergelijke bergingsinstallaties (de politieke en maatschappelijke aanvaarding, in een potentieel gastland, van de invoer van buitenlands radioactief afval met het oog op de berging ervan, het oplossen van alle juridische en institutionele vragen enz.). Daaruit blijkt dat het begrip 'gedeelte berging' op zich een aantal bijkomende uitdagingen met zich meebrengt ten opzichte van nationale bergingsinstallaties. Bovendien bestaat er een risico dat men de controle over het project en/of de planning verliest.

Bijlage 1 Acroniemen

Andra	<i>Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs</i> (Frankrijk)
ASN	<i>Autorité de sûreté nucléaire</i> (Frankrijk)
BGE	<i>Bundesgesellschaft für Endlagerung</i> (Federale instelling voor de berging van radioactief afval) (Duitsland)
CEA	<i>Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives</i> (Frankrijk)
CNE	<i>Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs</i> (Frankrijk)
CoRWM	<i>Committee on Radioactive Waste Management</i> (Verenigd Koninkrijk)
EC	Europese Commissie
FANC/AFCN	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle / <i>Agence fédérale de Contrôle nucléaire</i>
FOD	Federale Overheidsdienst
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
IRSN	<i>Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire</i> (Frankrijk)
MOX	<i>mixed-oxide fuel</i>
Nagra	<i>Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle</i> (Nationale coöperatieve vereniging voor de berging van radioactief afval) (Zwitserland)
NEA	<i>OECD Nuclear Energy Agency</i>
NIRAS/ONDRAF	Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen / <i>Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies</i>
NNL	<i>National Nuclear Laboratory</i> (Verenigd Koninkrijk)
OESO/OECD	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling / <i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
Posiva	Maatschappij voor het beheer van kernafval (Finland)
RWM	<i>Radioactive Waste Management</i> (Verenigd Koninkrijk)
SEA	<i>strategic environmental assessment</i>
SGDN	<i>Société de gestion des déchets nucléaires</i> (Maatschappij voor het beheer van kernafval) (Canada)
tHM	<i>tonne of Heavy Metal</i>
UOX	<i>uranium-oxide fuel</i>

Bijlage 2 Referenties van de documenten die de nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van andere landen vaststellen of er gewag van maken

De nationale beleidsmaatregelen voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogactief en/of langlevend afval (deel 3.5) van de OESO-landen en de landen van de Europese Unie met ten minste één commerciële kernreactor die geëxploiteerd wordt of definitief is stilgelegd, zijn vastgesteld door of vermeld in de volgende documenten.

Bulgarije

B-C: The Republic of Bulgaria, Sixth National Report on Fulfilment of the Obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Sofia, 2017

Canada

A-B: Nuclear Fuel Waste Act, S.C. 2002, c. 23

C: Nuclear Fuel Waste Act, S.C. 2002, c. 23, en keuze van de geologische-bergingsoplossing door de Canadese regering, vermeld in: Canadian National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Sixth Report, October 2017

Duitsland

A-B: Act on the peaceful utilisation of nuclear energy and the protection against its hazards (Atomic Energy Act) of 23 December 1959, as amended and promulgated on 15 July 1985, last amendment of 26 July 2016, corrected on 15 December 2016

Finland

C: Nuclear Energy Act (990/1987)

Frankrijk

B-C: Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs

Hongarije

A-B en C: Act CXVI of 1996 on Atomic Energy (adopted by the Parliament of Hungary on 10 December 1996), vermeld in: Hungary National Report, Sixth Report prepared within the framework of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2017

Italië

B-C: Programma Nazionale per la gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi elaborato ai sensi del Decreto Legislativo n.45/2014 di recepimento della Direttiva 2011/70/EURATOM che istituisce un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi — Testo consolidato a seguito del procedimento di Valutazione Ambientale Strategica concluso con il decreto di VAS n.340 del 10 dicembre 2018

Japan

B: Final Disposal Act of June 2000, as amended in June 2007, vermeld in: National Report of Japan for the Sixth Review Meeting, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, October 2017

C: Final Disposal Act of June 2000, as amended in June 2007, vermeld in: National Report of Japan for the Sixth Review Meeting, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, October 2017

Nederland

A-B-C: Ministry of Housing, Physical Planning and Environment (VROM), Radioactive waste policy in The Netherlands; An outline of the Government's position, September 1984

Roemenië

B-C: Roemenië, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Romanian, The Sixth National Report, 2017

Slovenië

C: Resolution on the National Programme for Managing Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel 2016–2025, April 2016, vermeld in: Sixth Slovenian Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, October 2017

Slowakije

C: Resolutie van de Regering van de Slowakije Republiek no. 387/2015 van 8 juli 2015 inzake het voorstel tot nationaal beleid en het nationale programma voor het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval in de Slowaakse Republiek als update van het strategisch document "Strategie voor het laatste deel van het vreedzame gebruik van kernenergie in de Slowaakse Republiek" [vertaling NIRAS]

Spanje

B-C: Segundo Informe Nacional sobre la aplicación de la Directiva 2011/70/Euratom por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, Julio 2018

Tsjechië

C: Policy for Radioactive Waste Management and Spent Fuel Management in the Czech Republic approved by the Czech government Resolution No. 487 of 15 May 2002 and its update, the draft of which was approved on 15 December 2014, vermeld in: The Czech Republic National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Praha 2017

Verenigd Koninkrijk

B-C: Response to the Report and Recommendations from the Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM) — By the UK Government and the devolved administrations, 2006

Verenigde Staten

C: Nuclear Waste Policy Act of 1982 as amended with appropriations acts appended, March 2004

Zuid-Korea

C: Basic Plan on Management of High level Radioactive Waste, vermeld in: Korean Sixth National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, October 2017

Zweden

A-B: Act on Nuclear Activities 1984:3

C: Act on Nuclear Activities 1984:3, en keuze van de site door SKB in 2009, vermeld in: <https://www.skb.com/future-projects/the-spent-fuel-repository/how-forsmark-was-selected>

Zwitserland

A-B en C: Nuclear Energy Act of 21 March 2003, van kracht sinds 1 januari 2005; Nuclear Energy Ordinance of 10 December 2004

Bijlage 3 Advies van het Adviescomité en wijze waarop het is behandeld

Het advies van het Adviescomité SEA [Adviescomité SEA 2019], overeenkomstig de wet van 13 februari 2006, over het ontwerpregister van dit SEA is opgenomen als bijlage bij het ontwerpregister, samen met een puntsgewijs antwoord op de aanbevelingen van het comité. Het ontwerpregister is verder niet gewijzigd. Het aldus verkregen document vormt het *register van het milieueffectenrapport (Strategic Environmental Assessment – SEA) voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval*, dat aan het adviescomité werd meegedeeld.

Omwille van de transparantie is het advies van het adviescomité hieronder cursief weergegeven, met de antwoorden van NIRAS op de verschillende aangehaalde punten.

Inleidende opmerkingen

[4] Het SEA-comité ondersteunt het opzet van NIRAS om in verschillende het beleid voor een veilige berging voor mens en milieu vorm te geven, met als hypothetisch doel te kunnen starten met de werken tegen 2050. Het SEA comité benadrukt dat het van groot belang is dat het besluitvormingsproces omtrent deze materie geen onnodige vertraging oploopt.

[5] Het SEA-comité stemt in met het conceptuele en strategische karakter van de eerste stap in het beleidsplan, nl. de voorliggende nationale beleidsmaatregel, en verwelkomt de intentie om elke volgende stap in het beleidsproces voor te leggen aan het SEA comité.

[6] Het Comité stemt ermee in, aangezien de geografische afbakening en de geologische omgeving nog niet zijn bepaald het niet nodig mogelijk is in deze fase grensoverschrijdende effecten te beoordelen, maar de voorliggende documenten over te maken aan de SEA experts van de EU lidstaten.

[7] Het SEA-comité is het eens dat het voorliggende ontwerpregister een degelijk instrument is waarop de milieueffecten-evaluatie zich zal dienen te baseren. Desalniettemin wil het SEA-comité volgende aanbevelingen doen.

Planalternatieven

[8] Het alternatief dat wordt voorgesteld, is de verwachte evolutie als het plan niet wordt uitgevoerd vertrekkend vanuit het referentiesituatie. Deze referentiesituatie is de huidige tijdelijke bovengrondse opslag in opslaggebouwen in Dessel. Dit scenario moet grondig worden uitgewerkt. Dit geeft de politieke verantwoordelijken en het publiek een duidelijk beeld van de risico's verbonden aan het niet (tijdig) nemen van een beslissing.

Het evolutiescenario van de referentiesituatie indien het Plan niet wordt uitgevoerd werd uitgebreid (deel 7.2). Het is echter niet mogelijk om het meer in detail te ontwikkelen, wegens de onzekerheden die er intrinsiek aan verbonden zijn: het is onmogelijk te anticiperen om welke contextuele onzekerheden (risico's van verslechtering van de reglementaire opvolging, verdwijning van de exploitant, erosie van de kennis, uitdroging van de financiering, oorlog enz.) en wanneer (enkele honderden of duizenden jaren?) de huidige situatie van bovengrondse tijdelijke opslag, die door een actief beheer en voortdurende investeringen veilig kan blijven, zal omslaan in een situatie waarin de bescherming van mens en milieu niet langer gewaarborgd is.

[9] Het comité vraagt dat de multinationale variant verder wordt uitgewerkt, waarbij verschillende landen dezelfde installatie zouden delen in het buitenland. De schaal van de milieueffecten hiervan zijn immers anders. Er zijn bijvoorbeeld meer risico's op het vlak van

transport. Daarnaast kunnen de risico's op lange termijn van het concentreren van het radioactief afval in Europa op een beperkt aantal plaatsen anders zijn.

NIRAS heeft de variant 'multinationale geologische berging in galerijen' beschreven (kader 2 in deel 3.1) en overwegingen betreffende de milieueffecten van een dergelijke berging toegevoegd (deel 9.6).

Ze wijst er ook op dat het feit dat België, in voorkomend geval, een multinationale samenwerking aangaat met het oog op de ontwikkeling van een bergingsoplossing die door verschillende landen wordt gedeeld, het land blootstelt aan de mogelijkheid dat de toekomstige bergingsinstallatie in België zal worden gebouwd. Aangezien een dergelijke samenwerking bovendien niet noodzakelijk succesvol zal zijn, zou België in ieder geval zijn nationale bergingsprogramma moeten voortzetten totdat de gedeelde bergingsinstallatie in bedrijf wordt genomen.

[10] Voor de verworpen alternatieven die niet in detail worden besproken, dient zowel verwezen te worden naar de juridische gronden als naar de milieuoverwegingen of overwegingen van haalbaarheid.

NIRAS heeft de afwijzing van de alternatieven die niet in detail worden besproken, verantwoord op verschillende gronden, voornamelijk juridische overwegingen, de vaststelling dat deze alternatieven niet in staat zijn de bescherming van mens en milieu op lange termijn te verzekeren of dat het niet mogelijk is een overtuigend bewijs van deze bescherming te leveren, alsook haalbaarheidsoverwegingen (hoofdstuk 4).

Risico's voor niet-nucleaire aspecten

[11] In tabel 9 dient er meer aandacht te zijn voor een aantal risico's verbonden aan niet-nucleaire aspecten. Het bouwen van een ondergrondse opslagplaats veronderstelt een zekere hoeveelheid cement, wat een cementfabriek ter plaatse zal vereisen. De impact hiervan op het grondwater kan niet worden onderschat. Dit risico kan dus beter worden gekwalificeerd als "onbekend" in plaats van niet relevant. Dit geldt ook voor "wijziging structuurkenmerken waterloop".

Het is inderdaad beter om de beoordeling van de effecten 'Wijziging grondwaterstromingen', 'Wijziging grondwaterpeil of stijghoogte' en 'Wijziging structuurkenmerken waterloop' voor de periode vóór de sluiting van de bergingsinstallatie niet in dit stadium te verwerpen. Deze drie effecten zijn dus geschrapt uit de lijst met effecten waarvan NIRAS weet of vrijwel zeker is dat ze nooit beoordeeld zullen moeten worden, maar waarvan ze niettemin van plan is het gebrek aan relevantie na te gaan in latere stadia van de stapsgewijze beoordeling van de milieueffecten (deel 6.1.1). NIRAS heeft bovendien twee extra effecten toegevoegd aan de lijst met effecten die in dit stadium moeten worden beoordeeld voor de periodes vóór en na de sluiting: het effect 'Aanrijking ondergrond' en het effect 'Wijziging ondergrondtemperatuur'.

Bijkomende opmerkingen

[12] Er dient verduidelijkt te worden hoe de inschaling in tabel 11 "scoping van de milieueffecten van het Plan voor de korte termijn" is gebeurd.

De tabel 'Scoping van de milieueffecten van het Plan voor de korte termijn' werd ingevuld op een manier die NIRAS, achteraf gezien, gedeeltelijk zou willen wijzigen. De aangebrachte wijzigingen veranderen echter niets aan het eindresultaat van de scoping voor de korte termijn. De scoping die in het ontwerpregister is uitgevoerd voor de korte termijn, is immers niet uitgevoerd tot de laatste fase van de scoping in/out: in plaats van een lijst op te stellen met effecten die in het SEA moeten worden beoordeeld, heeft NIRAS er de voorkeur aan gegeven families van te beoordelen effecten (op het oppervlakte- en grondwater en op de bodem) te selecteren, waaraan nog enkele andere effecten zijn toegevoegd.

In het ontwerpregister heeft NIRAS, aan de hand van de volgende vier elementen, de verschillende milieueffecten onderzocht die in de *scoping* voor de korte termijn in aanmerking zijn genomen:

- de kans dat het effect zich daadwerkelijk voordoet;
- de grootte van de veranderingen die zich zullen voordoen;
- het grensoverschrijdende karakter van het milieueffect;
- de grootte van het gebied waarover het effect zich uitstrekt.

Ze was van mening dat de '*kans dat het effect zich daadwerkelijk voordoet*' in de meeste gevallen laag en in de andere gevallen gemiddeld of groot is. Deze scores werden niet altijd adequaat ingeschat, omdat de uitdrukking '*kans dat het effect zich daadwerkelijk voordoet*' werd opgevat als een verwijzing naar het risico dat aan het effect verbonden is, en niet naar de kans dat het effect zich daadwerkelijk voordoet.

Van het merendeel van de in tabel 11 van het ontwerpregister vermelde effecten moet ervan worden uitgegaan dat er een grote tot zeer grote kans is dat ze zich zullen voordoen, terwijl die kans bij de andere effecten klein of gemiddeld is. Deze risico's op optreden worden genuanceerd door het feit dat de omvang van de veranderingen die zich zullen voordoen klein wordt geacht (ongewijzigde schatting ten opzichte van het ontwerpregister) en dat de uitbreidingszone van elk effect zeer lokaal wordt geacht (ongewijzigde schatting ten opzichte van het ontwerpregister). In normale bouw- en exploitatieomstandigheden van een bergingssite lijkt geen enkele van de onderzochte effecten zich inderdaad uit te strekken tot buiten het lokale niveau. Rekening houdend met de vaststelling dat het onmogelijk is de grensoverschrijdende effecten van het Plan te beoordelen (deel 6.2), was NIRAS ook van mening dat de onderzochte effecten niet grensoverschrijdend zijn. Dit punt zal in latere stadia van de stapsgewijze milieueffectenbeoordeling worden beoordeeld.

[13] *Bij de beoordeling van de milieueffecten van het Plan zal NIRAS twee tijdsdomeinen hanteren; deze "korte termijn" en "lange termijn" kunnen nog iets specifiekere worden omschreven.*

NIRAS heeft de twee tijdsdomeinen opnieuw gedefinieerd, zodat ze overeenstemmen met de periode vóór de sluiting van de bergingsinstallatie, aan de ene kant, en de periode na de sluiting, aan de andere kant (deel 6.1.2). Deze wijziging komt erop neer dat de activiteiten in verband met de *volledige* sluiting van de geologische-bergingsinstallatie en de gedeeltelijke of volledige afbraak van de bovengrondse installaties van de tweede naar de eerste periode worden overgebracht. Ze biedt dus het voordeel dat de periode vóór de sluiting wordt afgestemd op de periode waarin menselijke activiteiten nodig zijn en de periode na de sluiting op de passieve periode van het bergingssysteem.

Deze herdefiniëring heeft slechts een marginaal effect op het resultaat van de *scoping*-procedure: ze heeft tot gevolg dat de milieueffecten van de volledige sluiting van de bergingsinstallatie in aanmerking worden genomen bij de beoordelingen met betrekking tot de periode vóór de sluiting. Het standpunt volgens welk de milieueffecten van het terugbrengen van de site naar een onbebouwde of minder bebouwde staat na de volledige sluiting van de bergingsinstallatie in latere stadia van de vaststelling van de nationale beleidsmaatregelen zullen worden beoordeeld, wordt gehandhaafd.

Terwijl de duur van de 'korte termijn' (periode die in het ontwerpregister beschreven is als de periode die eindigt bij de sluiting van de bergingszones) op een honderdtal jaren kon worden geraamd, is de duur van de periode vóór de sluiting daarentegen moeilijker in te schatten, omdat deze afhankelijk zal zijn van de beslissing die de toekomstige generaties zullen nemen over de sluiting van de bergingsinstallatie.

[14] De Franse versie moet tekstueel worden verbeterd in de laatste paragraaf van sectie 5.2.4.

Deze paragraaf over de milieueffectenbeoordelingen van combinaties van bergingsopties is verdwenen.

[15] Er is een inconsistentie tussen tabellen 9 en 11 in verband met de elementen wijziging grondwaterstromingen en aanrijking grondwater (relevant of niet voor SEA).

De vastgestelde inconsistentie is aanwezig in het Nederlands en is het gevolg van een fout in de vertaling van de oorspronkelijke Franse versie. In tabel 11 van de Nederlandse versie had het effect '*Aanrijking grondwater*' moeten verschijnen in plaats van het effect '*Wijziging grondwaterstromingen*'.

Referenties

- [Adviescomité SEA 2019] Adviescomité SEA, Advies over het ontwerpregister strategische milieubeoordeling van een voorontwerp van KB tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval, 21 november 2019
- [ASN 2016] Autorité de sûreté nucléaire, Avis n° 2016-AV- 0259 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l’élaboration du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2016-2018
- [België 1980] Wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, Belgisch Staatsblad van 15 augustus 1980
- [België 1981] Koninklijk besluit van 30 maart 1981 houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van de openbare instelling voor het beheer van radioactief afval en verrijkte splijtstoffen, Belgisch Staatsblad van 5 mei 1981
- [België 2001] 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 van 30 augustus 2001
- [België 2002] Wet van 2 augustus 2002 houdende instemming met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval, gedaan te Wenen op 5 september 1997, Belgisch Staatsblad van 25 december 2002
- [België 2003] Wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie, Belgisch Staatsblad van 28 februari 2003
- [België 2006] Wet van 13 februari 2006 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma’s en de inspraak van het publiek bij de uitwerking van de plannen en programma’s in verband met het milieu, Belgisch Staatsblad van 10 maart 2006
- [België 2014] Wet van 3 juni 2014 houdende wijziging van artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, wat de omzetting in het interne recht betreft van 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, Belgisch Staatsblad van 27 juni 2014
- [België 2018] Koninkrijk België, Nationaal verslag over de uitvoering van de richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval, Tweede uitgave, augustus 2018
- [België 2019] Wet van 10 maart 2019 houdende instemming met de Overeenkomst tussen het Koninkrijk België en het Groothertogdom Luxemburg betreffende het beheer en de definitieve berging van het radioactief afval van het Groothertogdom Luxemburg op het grondgebied van het Koninkrijk België, gedaan te Luxemburg op 4 juli 2016, Belgisch Staatsblad van 29 maart 2019
- [Blue Ribbon Commission 2012] Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future, Report to the Secretary of Energy, January 2012
- [Bracke 2017] Bracke, G., Charlier, F., Liebscher, A., Schilling, F.R. and Röckel Th., About the Possibility of Disposal of HLRW in Deep Boreholes in Germany, Geosciences 2017, 7, 58, 18 July 2017

- [CEA 2015] Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides, Décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, juin 2015
- [Chapman 2019] Chapman, N.A., Who Might Be Interested in a Deep Borehole Disposal Facility for Their Radioactive Waste?, *Energies* 2019, 12, 1542, 24 April 2019
- [CNE 2019] Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs instituée par la Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006, Rapport d'évaluation N°13, Juin 2019
- [CoRWM 2018] Committee on Radioactive Waste Management, Position Paper: Why Geological Disposal?, CoRWM doc. 3521, 17 November 2018
- [CoRWM 2019] Committee on Radioactive Waste Management, Position Paper: Deep Borehole Disposal, CoRWM doc. 3574, 4 July 2019
- [Europese Commissie 1979] European Commission, European Catalogue of Geological Formations Having Favourable Characteristics for the Disposal of Solidified High-Level and/or Long-lived Radioactive Wastes. 2 — Belgium, Date of Compilation 01.01.1978, Volume compiled by SCK•CEN and Service géologique de Belgique, September 1979
- [Europese Commissie 2019] Europese Commissie, Verslag aan de Raad en het Europees Parlement inzake de voortgang van de uitvoering van Richtlijn 2011/70/EURATOM van de Raad en een inventaris van op het grondgebied van de Gemeenschap aanwezig radioactief afval en verbruikte splijtstof en de vooruitzichten voor de toekomst, Tweede verslag, COM(2019) 632 final, Brussel, 17 december 2019
- [Europese Raad 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, Publicatieblad L 199/48, 2 augustus 2011
- [Europese Raad 2013] Richtlijn 2013/59/Euratom van de Raad van 5 december 2013 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling, en houdende intrekking van de Richtlijnen 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom en 2003/122/-Euratom, Publicatieblad L 13/1, 17 januari 2014
- [FANC 2010] Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, Advies van het FANC betreffende NIRAS documenten: Ontwerp van AfvalPlan (AP) en bijhorend Strategic Environmental Assessment (SEA), nota 010-149-N, 30 augustus 2010
- [FANC 2014] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Brief van het FANC aan NIRAS, Note de positionnement de l'AFCN relative au stockage géologique et à la gestion à long terme des déchets B&C dans le cadre de l'établissement des politiques nationales et du programme national, réf. 2014-12-09-FB-5-1-2-FR, 9 décembre 2014, en bijlage
- [FANC 2015] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Avis de l'AFCN sur le Programme National du 10 avril 2015, réf. 2015-04-29-AW-5-4-1-FR, 7 mai 2015
- [FANC 2019] Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, Radiologisch toezicht in België — Syntheseverslag 2018, oktober 2019
- [FOD Economie 2016a] FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, Vergelijkende studie van de beheerstrategieën van de Belgische splijtstof (Deel 2 + erratum), 29 januari 2016
- [FOD Economie 2016b] FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, Ministerieel besluit van 3 oktober 2016 tot vaststelling van het eerste Nationaal Programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval, Belgisch Staatsblad van 15 juni 2017
- [FOD Volksgezondheid 2007a] FOD Volksgezondheid, Veiligheid Voedselketen en Leefmilieu, Begeleidingsinstrument bij de beoordeling van de milieueffecten van bepaalde plannen en programma's op federaal vlak — Toelichtingsdocument voor screening, juli 2007

- [FOD Volksgezondheid 2007b] FOD Volksgezondheid, Veiligheid Voedselketen en Leefmilieu, Begeleidingsinstrument bij de beoordeling van de milieueffecten van bepaalde plannen en programma's op federaal vlak — Screeningsdocument, juli 2007
- [FOD Volksgezondheid 2007c] FOD Volksgezondheid, Veiligheid Voedselketen en Leefmilieu, Begeleidingsinstrument bij de beoordeling van de milieueffecten van bepaalde plannen en programma's op federaal vlak — Toelichtingsdocument voor scoping, juli 2007
- [FOD Volksgezondheid 2007d] FOD Volksgezondheid, Veiligheid Voedselketen en Leefmilieu, Begeleidingsinstrument bij de beoordeling van de milieueffecten van bepaalde plannen en programma's op federaal vlak — Scopingsdocument, juli 2007
- [Freeze *et al.* 2019] Freeze, G.A., Stein, E., Brady, P.V., Post-Closure Performance Assessment for Deep Borehole Disposal of Cs/Sr Capsules, *Energies* 2019, 12(10), 1980, 23 May 2019
- [Geologica Belgica 2001] Geologica Belgica, number 1-2 — Lithostratigraphic scale of Belgium, volume 4 (2001)
- [Groothertogdom Luxemburg 2018] Loi du 6 juin 2018 portant approbation de l'Accord entre le Grand-Duché de Luxembourg et le Royaume de Belgique relatif à la gestion et au stockage définitif des déchets radioactifs du Grand-Duché de Luxembourg sur le territoire du Royaume de Belgique, fait à Gäichel, le 4 juillet 2016, Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg, N° 478 du 12 juin 2018
- [IAEA 1994] International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste — A Safety Guide, Safety Series No. 111-G-1.1, Vienna, May 1994
- [IAEA 1997] International Atomic Energy Agency, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, 24 December 1997
- [IAEA 2003] International Atomic Energy Agency, The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability — A Position Paper of International Experts, IAEA, Vienna, June 2003
- [IAEA 2009] International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide No. GSG-1, Vienna, November 2009
- [IAEA 2011a] International Atomic Energy Agency, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-14, Vienna, September 2011
- [IAEA 2011b] International Atomic Energy Agency, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards, No. SSR-5, Vienna, April 2011
- [IRSN 2019a] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue — Rapport établi en réponse à une saisine de la Commission nationale du débat public, rapport IRSN/2019-00318, mai 2019
- [IRSN 2019b] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Débat Public — Projet Cigéo, Thème 1 — La place de Cigéo dans le dispositif de gestion des déchets, La séparation/transmutation des déchets à vie longue, FS 1-4
- [Marghem & Peeters 2018] Brief van de voogdij van NIRAS aan NIRAS, Politique nationale pour la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie, réf. MCM/KP-AJ/EP-MaP/SV 9621, 28 novembre 2018
- [Ministerraad 1998] Ministerraad, Vergadering van 16 januari 1998, Beheer op lange termijn van het laagradioactieve afval. 98A40450.039
- [Ministerraad 2006] Ministerraad, Vergadering van 23 juni 2006, Berging van radioactief afval (categorie A). 2006A42450.020
- [Muller *et al.* 2019] Muller, R.A., Finsterle, S., Grimsich, J., Baltzer, R., Muller, E.A., Rector, J.W., Payer, J. and Apps, J., Disposal of High-Level Nuclear Waste in Deep Horizontal Drillholes, *Energies* 2019, 12(11), 2052, 29 May 2019

- [NEA 1995] Nuclear Energy Agency, The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal — A Collective Opinion of the NEA Radioactive Waste Management Committee, OECD 1995
- [NEA 2003] Nuclear Energy Agency, SAFIR 2 — Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste: An International Peer Review, OECD, 2003
- [NEA 2008] Nuclear Energy Agency, Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste — A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC), NEA No. 6433, OECD 2008
- [NEA 2011] Nuclear Energy Agency, Potential Benefits and Impacts of Advanced Nuclear Fuel Cycles with Actinide Partitioning and Transmutation, NEA No. 6894, OECD 2011
- [NEA 2012] Nuclear Energy Agency, Trends towards Sustainability in the Nuclear Fuel Cycle, NEA n° 6980, OECD 2011
- [NIRAS 1989] NIRAS, SAFIR — Safety Assessment and Feasibility Interim Report, 22 mei 1989
- [NIRAS 2001a] ONDRAF/NIRAS, SAFIR 2 — Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, report NIROND 2001-06 E, December 2001
- [NIRAS 2001b] NIRAS, Technisch overzicht van het SAFIR 2-rapport — Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, rapport NIROND 2001-05 N, december 2001
- [NIRAS 2010] NIRAS, Het cAt-project in Dessel — Een langetermijnoplossing voor het Belgische categorie A-afval, rapport NIROND 2010-02 N, maart 2010
- [NIRAS 2011a] NIRAS, Afvalplan voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en overzicht van verwante vragen, rapport NIROND 2011-02 N, september 2011
- [NIRAS 2011b] NIRAS, Verklaring betreffende het Afvalplan ter uitvoering van de wet van 13 februari 2006 — Afvalplan voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en overzicht van verwante vragen, Belgisch Staatsblad van 30 september 2011
- [NIRAS 2011c] NIRAS, Executive summary van het Afvalplan voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en overzicht van verwante vragen, Belgisch Staatsblad van 30 september 2011
- [NIRAS 2013] ONDRAF/NIRAS, 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, report NIROND-TR 2013-12 E, December 2013
- [NIRAS 2017] Brieven van NIRAS aan haar voorgdij, Nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval van de categorieën B en C, ref. JPM/MDE/2017-0628, 15 maart 2017 // Politique nationale pour la gestion à long terme des déchets radioactifs des catégories B & C, réf. JPM/MDE/2017-0354, 15 mars 2017
- [NIRAS 2018a] Brieven van NIRAS aan haar voorgdij, Voorstel van nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van hoogactief en/of langlevend afval, ref. MDE/PHL/AV/2018-1686, 25 juni 2018, en bijlage 3. "Voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval" // Proposition de politique nationale de gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie, réf. MDE/PHL/AV/2018-1685, 25 juin 2018, et annexe 3. « Avant-projet d'arrêté royal établissant le processus d'adoption de la politique nationale relative à la gestion à long terme des déchets radioactifs conditionnés de haute activité et/ou de longue durée de vie et définissant la solution de gestion à long terme de ces déchets »
- [NIRAS 2018b] ONDRAF/NIRAS, Evaluation of the overnight cost of geological disposal of category B&C waste — Costing 2018, report NIROND-TR 2017-31 E V1, June 2018

- [NIRAS 2019a] NIRAS, Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel, rapport NIROND-TR 2011-01, Versie 3, januari 2019
- [NIRAS 2019b] ONDRAF/NIRAS, Deep borehole disposal concept of high-level and/or long-lived waste: Technology watch – Status 2019, report NIROND-TR 2019-03 E, February 2019
- [NIRAS 2019c] ONDRAF, Présentation de l’inventaire technique des déchets radioactifs 2018, note 2019-0662, 22 mars 2019
- [NIRAS 2019d] ONDRAF/NIRAS, Monitoring international developments regarding shared geological repositories for high-level and/or long-lived waste: status as of March 2019, report NIROND-TR 2019-07 E, June 2019
- [NIRAS 2019e] Brief van NIRAS aan de Présidente de la Commission particulière en charge du débat PNGMDR, Commission nationale du débat public (CPDP) — France, Contribution de l’ONDRAF au débat public relatif au PNGMDR et, en particulier, à la gestion à long terme des déchets de haute activité à vie longue, réf. PHL/micu/2019-1975, 2 septembre 2019
- [NNL 2013] National Nuclear Laboratory, Minor Actinide Transmutation — Position Paper
- [Olsthoorn 2011] Olsthoorn, T.N., Geologische Berging Van Radioactief Afval in België: Mogelijke Gevolgen voor Nederland, Rapport opgesteld in opdracht van Provincie Noord-Brabant, Technische Universiteit Delft, 20 september 2011
- [OSPAR-Verdrag 1992] Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, 22 September 1992
- [Peeters & Marghem 2016] Brief van de voogdij van NIRAS aan NIRAS, Nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval van de categorieën B en C, ref. IND/10/KP/FL/2016/7/010, 7 november 2016
- [Resource Analysis 2010] Resource Analysis, Strategic Environmental Assessment (SEA) over het Afvalplan van NIRAS — Hoofdrapport, juni 2010
- [Ruimteverdrag 1967] Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, 27 January 1967
- [RWM 2016a] Radioactive Waste Management, Geological Disposal — Generic Disposal Facility Design, NDA Report no. DSSC/412/01, December 2016
- [RWM 2016b] Radioactive Waste Management, Geological Disposal — Technical Background to the generic Disposal System Safety Case, NDA Report no. DSSC/421/01, December 2016
- [SGDN 2013] Société de gestion des déchets nucléaires, Rapport de suivi des progrès en matière de retraitement, de séparation et de transmutation, Mise à jour 2013
- [SGDN 2019] Société de gestion des déchets nucléaires, Mise en œuvre de la Gestion adaptative progressive 2019 à 2023, mars 2019
- [SKB 2011] SKB, Environmental Impact Statement — Interim Storage, encapsulation and final disposal of spent nuclear fuel, March 2011
- [Sowder *et al.* 2016] Sowder, A., McCullum, R., Kindfuller, V., Why Demonstration of a Deep Borehole Disposal Concept Matters to the Nuclear Industry, Proceedings of the 15th International High-Level Radioactive Waste Management (IHLRWM) Conference, Charleston, SC, 12-16 April 2015
- [Vandenberghe & Laga 1996] Vandenberghe, N. & Laga, P., De aarde als fundament, Een inleiding tot de geologie voor ingenieurs, Leuven, Acco, 1996
- [Verdrag inzake Antarctica 1972] Antarctic Treaty, 1 December 1959
- [Verdrag van Londen 1972] Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 29 December 1972
- [Wouters & Vandenberghe 1994] Wouters, L. & Vandenberghe, N., Geologie van de Kempen — Een synthese, publicatie NIRAS NIROND-94-11, oktober 1994

