

Vergelijkende studie van de beheerstrategieën van de Belgische splijtstof

Deel 3

2017

Bijwerking op 31.12.2016

De opdracht van de FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie bestaat erin de voorwaarden te scheppen voor een competitieve, duurzame en evenwichtige werking van de goederen- en dienstenmarkt in België. In dat kader heeft de Algemene Directie Energie deze publicatie uitgegeven. Ze analyseert de veilige en duurzame beheersopties van de verbruikte brandstof van de Belgische commerciële kerncentrales.

Document opgemaakt door:
FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie
Algemene Directie Energie - Afdeling nucleaire toepassingen

Redactie afgesloten op 31 augustus 2017.

Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie
Vooruitgangstraat 50
1210 Brussel
Ondernemingsnr.: 0314.595.348
<http://economie.fgov.be>
tel. : 0800 120 33 (gratis nummer)

2

Verantwoordelijke uitgever: Jean-Marc Delporte
Voorzitter van het Directiecomité
Vooruitgangstraat 50
1210 Brussel

Internetversie

Woord vooraf

In haar richtlijn 2011/70/Euratom van 19 juli 2011 vraagt de Europese Commissie aan de lidstaten om tegen augustus 2015 een nationaal programma uit te werken voor het verantwoorde en veilige beheer van verbruikte splijtstoffen en van radioactief afval. De eerste editie van het nationale programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval¹ [1] beperkte zich tot een beschrijving - zonder nieuwe normatieve inhoud - van de toestand zoals die bestond op 31 december 2014 inzake het nationale beleid voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval, van de toepassing van dat beleid en van het nationale kader voor de toepassing ervan. Sommige aspecten van het nationale beleid bleken in dat nationale programma te ontbreken en moeten in de komende jaren worden goedgekeurd (het langetermijnbeheer van afval van categorie B en van afval van categorie C is daarvan een voorbeeld).

Het nationale programma geeft aan dat er een nationaal beleid bestaat voor het beheer van bestraalde splijtstoffen² van de commerciële kerncentrales: veilige opslag van de verbruikte splijtstof gevolgd door de opwerking of de berging ervan. Dat nationale beleid spreekt zich niet duidelijk uit over de berging die effectief gepland is en biedt evenmin de mogelijkheid om op heden de finale inventaris te kennen van het afval dat geborgen moet worden (afval uit opwerking of verbruikte splijtstof).

3

Het doel van de studie is om een voorafgaande analyse te maken van de mogelijke strategieën om de bestraalde splijtstof van de commerciële kerncentrales te beheren in België. Het lijkt er immers op dat het nationale beleid waarvan sprake is in het nationale programma de vrucht is van beslissingen die genomen zijn tussen 1974 en 1998 en dat er zich meer opties aandienen dan de twee waarvoor geopteerd is om de benedenfase van de Belgische splijtstofcyclus aan te pakken. Het gaat in totaal om zes verschillende strategieën, waaronder de twee opties waarvan sprake in de beslissing van de Ministerraad van 1998:

- Een strategie van “niet-opwerking”, waarbij dus gekozen wordt voor de open cyclus. In die strategie worden de splijtstoffen geconditioneerd en rechtstreeks ondergebracht in een geologische berging;
- Een strategie van “opwerking”, waarbij men opteert voor een gesloten cyclus. Die strategie werd onlangs opgesplitst in twee strategieën: allereerst de officieel overwogen strategie waarbij alle bestraalde splijtstof opgewerkt wordt, ten tweede een strategie waarbij enkel een deel van de bestraalde splijtstof wordt opgewerkt. Het afval uit de (volledige of gedeeltelijke) opwerking wordt verglaasd, gecementeerd of samengeperst afhankelijk van de aard ervan en vervolgens geconditioneerd om ondergebracht te kunnen worden in een geologische berging. Het gerecycleerde materiaal kan hergebruikt worden in de cyclus. In voorkomend geval wordt de niet-opgewerkte bestraalde splijtstof beheerd zoals in de strategie van niet-opwerking;

¹ Hierna “nationaal programma”. De cijfers tussen vierkante haakjes verwijzen naar de bibliografie achteraan deze tekst.

² In deze studie maken wij gebruik van de terminologie waarbij de splijtstof die definitief uit de reactor van de kerncentrale ontladen is, wordt opgesplitst in de zogenaamde “bestraalde splijtstof” zolang die splijtstof niet als afval verklaard is en “verbruikte splijtstof” wanneer zij als afval is aangegeven.

De andere geïdentificeerde strategieën zijn:

- Een strategie die we “doorgedreven scheiding” noemen en die in wezen dicht aanleunt bij de strategie van niet-opwerking, met dat verschil dat de scheidingstechniek gebruikt bij die strategie verschillend kan zijn van die welke gebruikt wordt in de opwerkingsstrategie voor zover de scheiding niet plaatsvindt met als doel het uranium en het plutonium opnieuw in de splijtstofcyclus te injecteren. Men kan er bij voorbeeld van uitgaan dat de scheidingstechniek gekozen en geoptimaliseerd werd zodat sommige chemische stoffen of groepen chemische stoffen gedifferentieerd geconditioneerd kunnen worden in functie van hun eigenschappen. In die strategie kunnen we uitsluiten dat valoriseerbare materialen (hoofdzakelijk uranium en plutonium die een energiepotentieel hebben) worden doorverkocht³ of hergebruikt met als doel om het volume en de radioactieve uitstoot van het in België geborgen afval te beperken.
- Een “verbrandingsstrategie” die gebaseerd is op het gebruik van een speciale verbrandingsoven voor actiniden en als doel heeft om langlevend radioactief afval te vernietigen. Het project MYRRHA, onder de vleugels van het SCK•CEN, is de voorloper van dat type installatie. Bij de vernietiging van actiniden (die beschouwd worden als langlevend hoogradiotoxisch afval en bijzonder moeilijk te beheren zijn) ontstaat afval dat nog steeds radioactief is, maar wel een veel kortere levensduur heeft. Dat maakt het al iets evidenter om het op lange termijn te beheren in een geologische bergingsinstallatie.
- Een strategie van “bijkomend onderzoek”, waarin België elke definitieve beslissing uitstelt naar een bepaald (of onbepaald) moment in de toekomst. In afwachting van de beslissing wordt de veilige berging van afval uit de splijtstofcyclus gegarandeerd. Het uitstellen van beslissingen gaat dan gepaard met gerichte O&O-inspanningen om nieuwe beheerstrategieën te ontwikkelen. Die strategie is ingegeven door de hoop dat uitgebreidere kennis het mogelijk maakt om de optimale strategie te ontwikkelen en toe te passen na afloop van de bijkomende onderzoeksperiode. Die strategie stemt in feite overeen met het status quo waarin België zich sinds 1993 bevindt.

De aanvullende strategieën die we in deze studie introduceren, hebben uiteraard niet dezelfde industriële rijpheid als de strategieën die al sinds 1993 bestudeerd worden, maar ze worden niettemin ernstig overwogen door een aantal andere landen. Frankrijk bijvoorbeeld, dat in tegenstelling tot België geen kernuistap plant, wil zijn splijtstofcyclus verduurzamen om bestraalde brandstof te kunnen hergebruiken en lagere actiniden te kunnen vernietigen in speciale verbrandingsovens en snelle reactoren. Een ander voorbeeld is Nederland, waar men ervoor gekozen heeft om de berging uit te stellen en opteert voor tussentijdse opslag gedurende een periode van honderd jaar.

Deze studie wil prospectief en informatief zijn. Ze heeft als doel om de strategieën uiteen te zetten die door en voor België overwogen kunnen worden en omvat een voorafgaande analyse van de aspecten waarmee rekening moet worden gehouden.

³ Algemeen gebruiken wij de term “verkoop” wanneer de eigendom van een valoriseerbaar materiaal aan een derde wordt overgedragen. In deze studie houden wij geen rekening met de financiële aspecten van dergelijke transacties en daarom beperken wij ons tot het gebruik van de term verkoop om naar dergelijke transacties te verwijzen, ook al kunnen in de praktijk materialen zonder compensatie worden overgedragen, wat dan overeenkomt met een verkoop tegen nulwaarde.

Inhoud

Woord vooraf	3
Lijst van figuren.....	5
1. Vergelijkende studie van de beheersstrategieën	6
2. Methodologie	7
3. Algemene hypothesen.....	8
4. Beheerstrategieën voor bestraalde splijtstof	14
4.1. Leessleutels	15
4.2. Strategie A: niet-opwerking.....	20
4.3. Strategie B: volledige opwerking	22
4.4. Strategie C: gedeeltelijke opwerking	25
4.5. Strategie D: doorgedreven scheiding.....	27
4.6. Strategie E: verbranding	30
4.7. Strategie F: bijkomend onderzoek	33
4.8. Transversale analyse van de chronologie van de beheerstrategieën voor bestraalde splijtstoffen	36
5. Samenvatting	40
Bibliografie	42

Lijst van figuren

Figuur 1. Schematische weergave van strategie A: niet-opwerking.....	20
Figuur 2. Schematische weergave van strategieën B en C: opwerking (volledig of gedeeltelijk).	23
Figuur 3. Schematische weergave van beheerstrategie D: doorgedreven scheiding.	27
Figuur 4. Schematische weergave van beheerstrategie E: verbranding.....	30
Figuur 5. Schematische weergave van beheerstrategie F: bijkomend onderzoek.	33
Figuur 6. Tijdlijn met de belangrijke stappen voor de Belgische splijtstofcyclus en diagramweergave van de mogelijke strategieën voor België.	39

1. Vergelijkende studie van de beheersstrategieën

Volgens de Europese richtlijn 2011/70/EURATOM, voorgesteld in het eerste deel van dit document, moet het nationale beleid van de lidstaten op het vlak van verantwoord en veilig beheer van radioactief afval berusten op zes principes: "

- *De productie van radioactief afval wordt tot het praktisch haalbare minimum beperkt, zowel wat de activiteit als het volume ervan betreft, door middel van aangepaste ontwerpmaatregelen en praktijken inzake bedrijfsvoering en ontmanteling, met inbegrip van recycling en hergebruik van materialen*
- *er wordt rekening gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van alle stappen in de productie en het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval;*
- *verbruikte splijtstof en radioactief afval worden op een veilige manier beheerd, voor de lange termijn onder meer met passieve veiligheidsmaatregelen;*
- *bij de uitvoering van de maatregelen wordt een graduele aanpak gevolgd;*
- *de kosten voor het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval komen ten laste van degene die die materialen hebben geproduceerd;*
- *in alle stadia van het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval wordt een empirisch onderbouwd en gedocumenteerd besluitvormingsproces gevolgd."*

De parlementaire resolutie van 1993 en de beslissing van de Ministerraad van 1998 hebben een studie- en onderzoeksperiode ingeluid die ten volle benut moet worden om in de grootst mogelijke sereniteit te oordelen welke beslissing België neemt inzake het beheer van splijtstoffen. Het gaat dan in het bijzonder om de keuze tussen de opties "opwerking" en "niet-opwerking".

Het nationale programma bepaald door de Ministerraad van 30 juni 2016 identificeert het nationale beleid voor het beheer van bestraalde splijtstof van de commerciële kerncentrales als zijnde de veilige opslag van de bestraalde splijtstof gevolgd door de opwerking of de berging ervan. In 2015 heeft NIRAS aan zijn toezichthouders een nationaal beleid voorgesteld voor het langetermijnbeheer van afval van categorie B en C, met name de berging in een unieke installatie gelegen op het Belgische grondgebied in een weinig verharde kleilaag. Eind 2016 was er geen enkele beslissing genomen met betrekking tot dat voorstel.

De situatie is enorm geëvolueerd sinds 1993. Er waren uitvoerige onderzoeksprogramma's op Belgische, Europese en wereldschaal. Enkele van de resultaten van die onderzoeksprogramma's zijn bijvoorbeeld de ontwikkeling van zogeheten "*Partitioning & Transmutation*"-technieken (scheidings- en transmutatietechnieken), de ontwikkeling van kernreactoren van de vierde generatie (doel is dat de eerste daarvan op industriële schaal worden geëxploiteerd tegen 2030), of de ontwikkeling door het SCK•CEN van het MYRRHA-prototype, waaraan België zijn officiële steun heeft toegezegd. Op het vlak van definitieve berging van radioactief afval is de situatie geëvolueerd: in twee landen is de bouw van een geologische bergingsinstallatie volop aan de gang. Zweden legde in 2010 de locatie vast voor zijn geologische berging, na een aantal jaren van onderzoek en volksraadplegingen. De bouwaanvraag werd ingediend in 2011. Ook Finland legde de locatie voor zijn bergingssite vast en diende een vergunningsaanvraag in.

Het lijkt ons vandaag nodig om na te gaan welke strategieën er mogelijk zijn voor België, zonder ons te beperken tot de twee strategieën bepaald in 1993 en 1998.

Deze studie is het derde deel van een serie documenten waarvan het eerste meer algemeen is en waarin alle wettelijke, historische en technische aspecten aan bod komen. Dit derde volume vormt een bijwerking de dato 31 december 2016. Het tweede deel vormde de eerste versie van de studie naar de strategieën voor het beheer van de Belgische splijtstof. De studie die eind 2014 was afgesloten, onderging een peerreview door een internationaal team van experts. Dit deel is een bijwerking van de studie van 2014 op 31 december 2016.

Om de lezer beter het verschil te laten zien tussen deze studie en de vorige versie hebben wij doelbewust dezelfde structuur behouden: we lichten eerst toe welke methode we gebruikt hebben om onze studie op te maken, vervolgens zetten we de algemene hypothesen uiteen die deze studie afbakenen en geven we een aantal “leessleutels” die het voor de lezer mogelijk maken om de uitgewerkte strategieën vanuit verschillende invalshoeken te benaderen. Dan bespreken we in detail de verschillende beheerstrategieën, aan de hand van een beknopte analyse van de gevolgen bij elke strategie, waarna er een transversale analyse volgt van de voorgestelde strategieën, vanuit een chronologisch perspectief. We besluiten met een synthese van de verschillende aspecten. De standpunten van de andere landen inzake eindbeheer van de splijtstofcyclus zijn toegevoegd als bijlage bij deze studie.

7 2. Methodologie

Deze studie werd uitgevoerd door de Dienst Nucleaire Toepassingen binnen de Algemene Directie Energie van de Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. Ze is gebaseerd op de studie die in 2014 is gerealiseerd en die volume 2 blijft van de serie documenten die door de FOD Economie gepubliceerd zijn over het beheer van de Belgische splijtstoffen.

De Algemene Directie Energie kreeg van de minister van Energie, Leefmilieu en Duurzame Ontwikkeling de opdracht tegen eind 2017 te zorgen voor de bijwerking van de documenten om enerzijds de becijferde toestand op 31 december 2016 en anderzijds de globale ontwikkeling in de Belgische context toe te lichten en rekening te houden met de return op de verworven ervaring.

In tegenstelling tot de studie die in 2014 gerealiseerd is, werd dit document niet gereviseerd via peerreview. Daarom proberen wij – daar waar mogelijk – duidelijk aan te geven welke nieuwe elementen via de bijwerking zijn toegevoegd en dat aan de hand van een identificatie op het einde van de sectie. Verbeteringen aan de tekst zijn echter niet uitgesloten wanneer zij gering blijven en zij de geest ervan niet wijzigen.

Net zoals in het geval van de studie van 2014 worden er in deze studie geen andere gedeeltelijke strategieën in overweging genomen, behalve de zogeheten strategie van de “gedeeltelijke opwerking” die door Synatom werd aangenomen als zijn referentieprogramma in de betekenis van het koninklijk besluit van 30 maart 1981. De nieuwe strategieën veronderstellen dat de onderzoeksinspanningen worden aangehouden alvorens ze daadwerkelijk te kunnen toepassen en, aangezien de hoeveelheid bestraalde splijtstof in België na 2025 niet meer toeneemt en vrij beperkt blijft, overwegen we niet om verschil-

lende strategieën toe te passen op verschillende delen van de splijtstof. We hebben geen scenario bepaald dat een dergelijke keuze zou kunnen rechtvaardigen.

In de analyse van de verschillende strategieën hebben we het over de flexibiliteit van elke strategie, of anders gezegd de mogelijkheid om indien nodig de gekozen strategie alsnog om te gooien. Het terugdraaien van de keuze voor een bepaalde strategie, als dat al nodig zou blijken, moet geëvalueerd worden indien de situatie dat vereist. Een dergelijke situatie wordt in deze - voorafgaande - studie niet behandeld, en we overwegen ook niet om van de ene strategie op de andere over te schakelen, behalve dan de overschakeling van bijkomend onderzoek op een andere, niet nader bepaalde strategie die voortkomt uit die bijkomende onderzoeksinspanningen.

In de studie hebben wij de leessleutels bewaard. Die leessleutels waren toegevoegd in de studie van 2014 naar aanleiding van de discussies met de experts van de peerreview omdat de strategieën die in deze studie aan bod komen vanuit verschillende en soms tegenstrijdige invalshoeken benaderd kunnen worden. Het gebruik van leessleutels kan helpen om die perspectieven te verduidelijken voor de lezer en om ze diepgaander te analyseren, weliswaar zonder in herhaling te vallen in de analyse van elke strategie.

In het overleg met de peerreview-experts kwam tevens een tijdsgebonden hiërarchie naar voren van de strategieën en van de beslissingen die tot elk van die strategieën leiden. Daarom hebben we besloten om een gekruiste chronologische analyse van de strategieën toe te voegen. Het resultaat van die analyse is in een mooi overzicht gegoten, dat aan het einde van de studie te vinden is.

3. Algemene hypotheses

Deze studie omvat zeven algemene hypotheses:

- de uitvoering van de wet op de kernuitstap van 31 januari 2003, in haar versie van 31 december 2016;
- geologische berging wordt aanvaard als strategie voor het langetermijnbeheer van radioactief afval, zoals voorgesteld in het Afvalplan van NIRAS [3];
- het NIRAS-referentieconcept voor geologische berging, uit de doeken gedaan in het Afvalplan van de instelling, wordt gebruikt;
- de geologische bergingsinstallatie wordt in België gebouwd en met name gebruikt worden voor al het radioactieve afval dat voortkomt uit de splijtstofcyclus van de Belgische elektronucleaire centrales;
- de omkeerbaarheid, zoals aanbevolen in het eindrapport van het publieksforum georganiseerd door de Koning Boudewijnstichting in 2009 en in de wet tot omzetting van de Europese richtlijn EURATOM/2001/70, is voorzien;
- het gebruik van splijtstof brengt onvermijdelijk radioactief afval voort, wat de gekozen strategie ook is;
- opslag wordt niet beschouwd als een onoverkomelijk obstakel.

Die zeven hypotheses vormen het kader van onze studie. Indien de Belgische situatie in de toekomst zodanig zou veranderen dat een van die hypotheses niet meer van toepassing is, dan moet de volledige studie worden herzien.

Uitvoering van de wet op de kernuitstap van 31 januari 2003 in haar versie van 31 december 2016

Uitgaande van die hypothese beperken we ons tot de strategieën binnen het wettelijk kader dat van kracht is op het moment dat deze studie wordt bijgewerkt. We kiezen dus voor een kader waarbinnen de vijf kernreactoren definitief gedeactiveerd worden in 2025, de reactoren Doel 3 en Tihange 2 respectievelijk in 2022 en 2023 gedeactiveerd zijn en waarbinnen er geen enkele nieuwe kerncentrale bestemd voor de industriële productie van elektriciteit op basis van kernsplijting gebouwd en/of in gebruik mag worden genomen. Drie types strategieën worden door die hypothese verworpen:

- De wet op de kernuitstap wordt gewijzigd en de kernuitstap gebeurt al voor 2025. Het uiteindelijke volume bestraalde splijtstoffen of afval dat ontstaat bij een eventuele verwerking van die splijtstoffen, zou lichtjes afnemen ten opzichte van de huidige vooruitzichten.
- De wet op de kernuitstap wordt zodanig gewijzigd dat die kernuitstap uitgesteld wordt. Die situatie zou het omgekeerde zijn van de voorgaande situatie: bijkomende kerncentrales zouden langer worden opgehouden (maar niet oneindig). De wetswijziging heeft evenwel enkel betrekking op de levensduur van de reactoren, er zou geen enkele nieuwe reactor in gebruik worden genomen. Het afvalvolume zou nog toenemen en de termijn vooraleer de laatste bestraalde splijtstoffen geborgen zouden kunnen worden in België, zou verlengd moeten worden gelet op de periode van 60 jaar afkoeling die NIRAS gepland heeft.
- De wet op de kernuitstap wordt herroepen. In dat geval zijn er verschillende scenario's denkbaar, gaande van de geplande sluiting van de kerncentrales tegen 2025 tot de ingebruikname van nieuwe kernreactoren, over het eventueel bijkomend langer in bedrijf houden van een of meerdere bestaande reactoren. De gevolgen van een herroeping kunnen talrijk zijn en moeten desgevallend bekeken worden.

Bijwerking 2016: de wijzigingen van de wet op de kernuitstap van 28 juni 2015 en van 12 juni 2016 zijn dus in aanmerking genomen in vergelijking met de vorige versie van de studie die enkel rekening hield met de wijziging van 18 december 2013 van de wet op de kernuitstap.

Geologische berging wordt aanvaard als strategie voor het langetermijnbeheer van radioactief afval

In haar afvalplan [3] zet NIRAS de elementen uiteen die hebben geleid tot de aanbeveling om te kiezen voor geologische berging als langetermijnstrategie voor het beheer van radioactief afval van categorie B en C. Ook de redenering die tot die strategie heeft geleid, wordt beschreven.

De tweede hypothese geeft in werkelijkheid aan dat we ons voor deze studie baseren op de conclusies uit het NIRAS-afvalplan. We gaan er dus van uit dat het voorstel van NIRAS om de kaart te trekken van een unieke geologische berging als nationaal beheersbeleid op lange termijn van radioactief afval van categorie B en C, in zijn voorgestelde vorm goedgekeurd wordt door de regering en in de praktijk wordt omgezet door NIRAS.

Het radioactieve afval van categorie B en C, ook het afval afkomstig uit de splijtstofcyclus, moet dus vroeg of laat geologisch worden geborgen, na een eventuele behandeling die afhangt van de gekozen strategie.

Bijwerking 2016: Die hypothese beperkt zich tot de keuze van geologische berging zonder dat een uitspraak wordt gedaan over het gastgesteente waarin die berging plaatsvindt. Volgens het nationale beleid dat door NIRAS wordt voorgesteld alsook volgens haar referentiescenario zal de geologische berging plaatsvinden in een weinig verharde kleilaag. De discussies met betrekking tot het gastgesteente die door de veiligheids-overheid gevoerd worden [4] hebben weinig impact op deze studie. Ook de juiste lokalisering van de geologische berging (waarbij zowel het aspect gastgesteente als het aspect diepte van de bergingsinstallatie aan bod komen) heeft een impact op de planning van het referentiescenario van NIRAS maar niet op de geest van de hier beschreven strategieën.

Ten slotte wijzen wij erop dat die hypothese de strategieën van eeuwigdurende opslag van het radioactieve afval uit splijtstofcyclus afvoert. De strategieën van “langetermijn-opslag” worden niet geweerd door die hypothese ook al worden zij niet als dusdanig in deze studie beschreven. Volgens de gekozen strategie kan het immers nodig zijn het afval gedurende vrij lange perioden op veilige wijze op te slaan in afwachting van de toepassing van de strategie, zoals wij aantonen in de transversale analyse van de chronologie van de strategieën.

Het NIRAS-referentieconcept voor de geologische bergingsinstallatie wordt gebruikt

Deze hypothese is het logische gevolg van de vorige: hoewel er bij elke strategie bepaalde aanpassingen nodig zijn aan de bergingsinstallatie, meer bepaald wat de afmetingen en de kunstmatige barrières betreft, druisen die aanpassingen niet fundamenteel in tegen het referentieconcept voor de geologische bergingsinstallatie dat NIRAS ontwikkelde en uiteenzet in haar Afvalplan. Dat concept omvat de gemeenschappelijke geologische berging van afval van categorie B en C (zie deel I van dit document), in de vorm van een toegangsgalerij van waaruit opslaggaleries vertrekken waar het geconditioneerd afval in ondergebracht wordt. We gaan er ook van uit dat de planning voor de bouw en de eigenlijke berging van het afval, in drie aparte campagnes⁴, nageleefd kan worden.

We wijzen er nog eens op dat de huidige planning, die ook gebruikt wordt in deze studie, nog goedgekeurd moet worden door de regering. De principebeslissing voor het langetermijnbeheer van radioactief afval aan de hand van geologische berging is tot op heden nog niet genomen. Ook de locatie van de bergingsinstallatie is nog niet bepaald. Daarnaast heeft het FANC nog geen officieel advies gegeven voor het referentieconcept van de berging, waardoor het dus aanzienlijk herzien zou kunnen worden alvorens de installatie gebouwd wordt en in gebruik wordt genomen.

Zoals reeds vermeld, hebben de bijzonderheden van elke strategie een impact op de praktische uitvoering van de berging; zo nemen we in het bijzonder in overweging dat:

- de aard van het afval en de hoeveelheid die geologisch geborgen moet worden verschilt volgens de gekozen optie. We houden er dus rekening mee dat de geologische bergingsinstallatie aangepast wordt in functie van het volume, de radiotoxiciteit en de warmteafgifte van het afval dat beheerd moet worden in elk van de strategieën in deze studie;

⁴ Zie punt 2.1.4 uit het eerste deel van dit document: Algemene informatie over de Belgische splijtstofcyclus

- de gebruikte conditioneringsmethode wordt die uit het referentieconcept van NIRAS, tenzij de strategie het tegenovergestelde vereist. In dat geval kunnen de nodige aanpassingen worden gedaan.

De meest gevoelige parameter in deze hypothese heeft betrekking op de uitvoeringsplanning van de geologische bergingsinstallatie (voorgesteld in het eerste deel van dit document). We gaan ervan uit dat de vereiste aanpassingen uitgevoerd kunnen worden zonder dat dat een invloed heeft op de oorspronkelijke planning voor alle fases van het referentiescenario van NIRAS, van het graven van de eerste schacht tot het definitieve afsluiten van de installatie, en dat voor elke strategie.

De bouw van het gedeelte voor de berging van het afval uit de splijtstofcyclus zou dus in 2092 aanvatten, ongeacht de gekozen beheerstrategie. We houden er rekening mee dat die datum bepaald wordt door onze hypothese. In de jaren voor 2092 moet men de afmetingen van de galerijen en het ontwerp van de kunstmatige barrières definitief vastleggen, op basis van de afvalinventaris eigen aan elke strategie.

Alle onbekenden die er op dit moment nog zijn op het vlak van geologische berging zouden een aanzienlijke impact kunnen hebben op de voorziene planning, waardoor het voorbarig zou kunnen blijken om uit te gaan van datums waar nog zoveel onzekerheden aan verbonden zijn. Gezien de afkoelingsperiode voor radioactief afval van categorie C, die 60 jaar bedraagt tussen het moment waarop het uit de reactor komt en het moment waarop het naar de geologische bergingsinstallatie wordt overgebracht, kunnen bepaalde splijtstoffen en afvalhoeveelheden uit de opwerking niet voor 2085 worden geborgen. 2092 lijkt dan ook een aanvaardbaar compromis als basis voor het overleg met betrekking tot het verloop van de verschillende strategieën uit deze studie.

Daarnaast hebben we de begindatum van de werkzaamheden gebruikt om af te leiden na welke datum een bepaalde strategie de goede uitvoering van geologische berging volgens het NIRAS-referentieconcept in het gedrang zou kunnen brengen. Eens de beheerstrategie gekend is, moet NIRAS de definitieve inventaris opmaken van het afval dat geborgen moet worden, de bergingsplannen uitvoeren en de technische details en de conditionering voltooien, het verloop van de bergingsoperaties uitstippelen en een bouw- en exploitatievergunning verkrijgen voor het tweede gedeelte van de berging. Op basis van die taken, waar eventueel nog extra taken bijkomen die eigen zijn aan de gekozen beheerstrategie, hebben we voor elke strategie op conservatieve wijze een limietdatum vastgelegd. Als er pas na die datum een strategie wordt gekozen, dan bestaat het risico dat de geologische berging niet uitgevoerd kan worden volgens de voorziene planning van NIRAS. De strategieën waarbij het niet mogelijk is om het afval uit de splijtstofcyclus (hoofdzakelijk afval van categorie C) te beheren voor de limietdatum, afgeleid uit de eerder vermelde planning, verhogen de kans dat het afval van categorie B & C in twee verschillende bergingen moet worden ondergebracht om de operationele veiligheid te waarborgen⁵. De gevolgde redenering om de limietdatum voor elke strategie te bepalen, wordt uiteengezet in de bijhorende analyses.

Tot slot moeten we nog verduidelijken dat deze hypothese voorziet in de bouw van een enkele berging voor afval van categorie B en C. Welnu, het is niet ondenkbaar dat de hoeveelheid radioactief afval en bestraalde brandstof tegen 2092 nog toeneemt (bijvoorbeeld door nieuwe onderzoeksactiviteiten of door ook rekening te houden met

⁵ Anders gezegd, om te vermijden dat de toegangsschachten jarenlang open blijven en niet gebruikt worden.

NORM/TENORM-afval). Het is op dit moment niet mogelijk om in te schatten welke impact toekomstige activiteiten kunnen hebben op de hoeveelheden en de aard van het afval dat geologisch geborgen moet worden.

Bijwerking 2016: NIRAS is van plan haar referentiescenario in de loop van 2018 bij te werken maar de eerste elementen in verband met het design van de bergingsinstallatie waren eind 2016 ter beschikking [5]. Het nieuwe design dat NIRAS bestudeerd heeft, moet kunnen worden aangepast aan de diepte aangezien die diepte onbepaald blijft zolang niet beslist is waar de berging plaatsvindt. De verschillen tussen het vooropgestelde design en het design van 2013 zijn aanzienlijk en hebben een grote impact op de planning die in deze studie gehanteerd wordt, tenzij er veranderingen worden aangebracht aan het operationele scenario om de impact ervan te temperen (bijvoorbeeld door ervan uit te gaan dat er in een gedeelte van de bergingsinstallatie operaties plaatsvinden tegelijkertijd met bouwwerkzaamheden in een ander gedeelte van de bergingsinstallatie, zoals dat gepland is door het agentschap ANDRA voor zijn geologische bergingsinstallatie van Bure).

De geologische bergingsinstallatie wordt in België gebouwd en wordt gebruikt voor al het radioactieve afval dat voortkomt uit de splijtstofcyclus van de Belgische elektronucleaire centrales

We gaan ervan uit dat NIRAS-referentieconcept voor bergingsinstallatie gebruikt wordt in België en enkel gebruikt wordt voor Belgisch radioactief afval. Met de mogelijkheid om een geologische bergingsinstallatie te bouwen in samenwerking met andere landen (regionale berging) wordt geen rekening gehouden in de strategieën die in deze studie aan bod komen.

Mocht er toch een internationale samenwerking worden opgezet voor het beheer van radioactief afval of van splijtstoffen, dan zou die voortvloeien uit een akkoord tussen partijen waarvoor we hier geen veronderstellingen doen. Merk evenwel op dat een regionale bergingsinstallatie steeds meer bijval krijgt, omdat de kosten zo gedeeld zouden kunnen worden. Dat is vooral handig voor landen die een vrij beperkt kernprogramma hebben vergeleken met andere landen. Bovendien zou in de scenario's waarbij ultramoderne technologieën worden ingezet regionale berging overwogen kunnen worden eens die technologieën achterhaald zijn. Maar het blijft een delicate kwestie waar een dergelijke berging zou komen en hoe ze gereguleerd zou moeten worden.

Bijwerking 2016: Wij wensen de aandacht van de lezer te vestigen op het gebruik van de term "afval" in de formulering van deze hypothese. Naar gelang van de gekozen strategie kunnen immers bepaalde valoriseerbare materialen deel uitmaken van de inventaris. Behalve als die niet als afval aangegeven worden en NIRAS niet beslist af te zien van de valorisatie van die materialen, dan kunnen die materialen niet geborgen worden in de bergingsinstallatie maar worden zij bij derden gevaloriseerd.

Het gebruik van splijtstof brengt onvermijdelijk radioactief afval voort, wat de gekozen strategie ook is

Deze hypothese verwijst naar een punt dat nog voer voor discussie is. Het klopt dat NIRAS door de Koning belast is met het beheer van het radioactieve afval, maar het is Synatom dat de splijtstofcyclus beheert in het kader van haar opdrachten als overheidsinstelling. Die takenverdeling heeft tot gevolg dat NIRAS pas kan starten met het beheer van de splijtstoffen als Synatom die daadwerkelijk als afval aangeeft. Als die aangifte niet

op een gegeven moment gebeurt, dan zou dat er in het slechtste geval toe kunnen leiden dat NIRAS het afval dat de bestraalde splijtstoffen voortbrengen niet meer kan beheren binnen de termijnen vastgelegd in het Afvalplan. In die hypothese is dat extreme geval ondenkbaar.

We wijzen er nog eens op dat de bestraalde splijtstof nog steeds ongeveer 95 % materialen met energiepotentieel (uranium en plutonium) bevat, die beschouwd kunnen worden als een hulpbron, zoals dat het geval is in de strategieën waarbij de bestraalde splijtstoffen worden opgewerkt. Die hypothese verduidelijkt dus dat die verbruikte splijtstof, of een deel ervan, gescheiden volgens de modaliteiten die eigen zijn aan bepaalde beheerstrategieën, op een bepaald moment aangegeven wordt als afval om vervolgens beheerd te kunnen worden door NIRAS.

Met een strategie waarbij de bestraalde splijtstof doorverkocht wordt (aan prijs die niet noodzakelijk positief is⁶) en er dus geen afval terugkeert naar België, is bijgevolg geen rekening gehouden in deze studie. Om doorverkoop te kunnen overwegen, zou allereerst de prijs van uraniumerts moeten stijgen tot een peil waarop het voor een kernenergie-land goedkoper wordt om bestraalde splijtstof aan te kopen en de kosten voor opwerking en afvalbeheer zelf te dragen in de plaats van natuurlijk uranium aan te kopen.

De omkeerbaarheid, zoals aanbevolen in het eindrapport van het publieksforum georganiseerd door de Koning Boudewijnstichting en in de wet tot omzetting van de Europese richtlijn EURATOM/2001/70, is voorzien

13

NIRAS definieert omkeerbaarheid (een begrip dat NIRAS gelijkstelt met flexibiliteit) en terugneembaarheid respectievelijk als de mogelijkheid om terug te komen op een of meerdere stappen uit de planning of de uitvoering van een optie voor het langetermijnbeheer van radioactief afval, in welk stadium ook, en de mogelijkheid om afval terug te nemen nadat het is ondergebracht in een specifieke beheerinstallatie [3]. Omkeerbaarheid veronderstelt bovendien de herziening en eventueel de herevaluatie van de genomen beslissingen en vereiste (technische, financiële) middelen, om de klok te kunnen terugdraaien. Dat wil dus zeggen dat men in terugvalposities moet voorzien, zowel vanuit politieke als technische invalshoek. Een programma kan zo worden ontworpen dat het de omkeerbaarheid vergemakkelijkt, bijvoorbeeld door het onder te verdelen in kleine stappen die frequent worden herzien, en door er technische bepalingen in op te nemen om dat mogelijk te maken.

Over de concepten omkeerbaarheid en terugneembaarheid worden nu heel wat discussies gevoerd op internationale schaal. Ze kwamen bovendien toen bleek dat er heel wat onzekerheden verbonden zijn aan het beheer van radioactief afval. De idee achter beide concepten is om, zo lang mogelijk en zonder de veiligheid van de bergingsinstallaties in het gedrang te brengen, de mogelijkheid achter de hand te houden om een stap terug te zetten als er zich problemen voordoen.

In 2009 organiseerde de Koning Boudewijnstichting, op vraag van NIRAS, een publieksforum onder de titel “Hoe beslissen over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en langlevend afval?” In het eindrapport naar aanleiding van die conferentie[6] heeft een van de geformuleerde aanbevelingen te maken met omkeerbaarheid (in het rapport ge-

⁶ Als blijkt dat de verkoop van kernbrandstof de kosten voor het definitieve beheer van bestraalde splijtstoffen zou kunnen drukken, dan zou het interessant kunnen zijn om een potentiële overnemer te betalen om dat beheer te vermijden.

definieerd als de mogelijkheid om later zowel technisch als financieel te kunnen kiezen voor andere opties voor het beheer van het afval):

"Vierde aanbeveling: Als burgers vinden we dat de voorgestelde oplossing van NIRAS (berging in diepe kleilagen) valabel is op voorwaarde dat de federale regering de omkeerbaarheid voor een redelijke periode van "minimum" 100 jaar vanaf de berging garandeert."

De Belgische omzetting van de Europese richtlijn EURATOM/2011/70 voorziet op de volgende manier in omkeerbaarheid:

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

In onze hypothese omtrent de omkeerbaarheid wordt dus voorzien dat de aanbeveling van het publieksforum gevolgd wordt en dat er een omkeerbaarheidstermijn van 100 jaar vereist is en geïmplementeerd wordt voor opslag in de geologische bergingsinstallatie, in overeenstemming met de wet tot omzetting van de Europese richtlijn.

We moeten verduidelijken dat we voor deze studie ook de bijkomende impliciete veronderstelling maken dat de omstandigheden die ertoe zouden kunnen leiden dat het afval uit de geologische berging moet worden teruggenomen (anders gezegd, dat de omkeerbaarheid wordt toegepast), zich nooit zullen voordoen. Die omstandigheden zouden bijvoorbeeld kunnen ontstaan indien er een zware energiecrisis uitbreekt of indien tijdens de monitoring van de berging blijkt dat de veiligheid in het gedrang komt. Opdat die omkeerbaarheid moet worden toegepast, gaan we ervan uit dat er een ingrijpende paradigmawijziging komt ten opzichte van de huidige situatie, en dat er dus een nieuwe analyse van de mogelijke opties nodig is.

Opslag wordt niet beschouwd als een onoverkomelijk obstakel

In dezelfde zin dat we ervan uitgaan dat de geologische bergingsinstallatie aangepast wordt aan elke strategie, houden we er ook rekening mee dat de bestraalde splijtstof (of desgevallend het radioactieve afval dat ontstaat bij de opwerking ervan) opgeslagen wordt tot aan de definitieve berging. De opslagbehoefte verschilt waarschijnlijk naargelang de strategie, maar dat aspect komt in deze studie niet aan bod.

Die hypothese heeft als gevolg dat we er rekening mee houden dat er indien nodig extra opslagcapaciteit moet worden aangelegd (zoals ook aangegeven in het eerste deel van dit document) en dat de opslagplaatsen worden aangepast aan het afval.

4. Beheerstrategieën voor bestraalde splijtstof

De algemene hypotheses die in dit deel van de studie worden uiteengezet, scheppen een kader voor het beheer van de splijtstofcyclus in België. Sinds 1993 worden er in België twee strategieën op gelijke voet overwogen voor het beheer van bestraalde splijtstof: niet-opwerking en totale opwerking. Onlangs nog kwam Synatom op de proppen met een bijkomende strategie van gedeeltelijke opwerking. Naast die drie strategieën hebben we nog twee extra strategieën bepaald die België kan overwegen voor het beheer van zijn

bestraalde splijtstof: scheiding en verbranding. Tot slot stellen we ook nog een wat bijzondere strategie voor, meer bepaald die van het bijkomende onderzoek, eigenlijk de huidige standaardstrategie. Zolang de formele keuze voor een bepaalde strategie ten koste van alle andere strategieën immers uitblijft, gaat het bijkomende onderzoek immers gewoon voort.

In dit deel zetten we alle zes de bepaalde strategieën op een rij, met voor elke strategie een virtueel tijdschema voor de toepassing ervan en een analyse van hun mogelijke gevolgen voor ons land.

De strategieën en de bijhorende analyses kunnen geïnterpreteerd worden op basis van verschillende leessleutels, die elk een andere dimensie belichten van het beheer van de splijtstofcyclus. We beginnen dit deel dan ook met de voorstelling van die leessleutels.

4.1. Leessleutels

Het is niet evident om de juiste optie te kiezen voor het beheer van de splijtstofcyclus. Uiteenlopende gevoeligheden zorgen er immers voor dat de problematiek op heel verschillende manieren benaderd wordt en dat een bepaald analyserooster de voorkeur krijgt op een ander. De leessleutels die we in deze studie voorstellen, houden rekening met de algemene hypothesen die we eerder formuleerden en met het standpunt van de Belgische Staat, die op grond van de Europese richtlijn EURATOM/2011/70 is aangeduid als de uiteindelijke verantwoordelijke voor het beheer van de verbruikte splijtstof en van het radioactieve afval dat op Belgisch grondgebied geproduceerd wordt. Ze waren besproken tijdens de peerreview van de studie van 2014.

De analyse van de beheerstrategieën voor de splijtstofcyclus moet gebeuren in het licht van die leessleutels. De onderstaande lijst met leessleutels is niet limitatief.

Het radiologische risico

Het radiologische risico is een van de dimensies in de hele problematiek rond langetermijnbeheer die door de interveniënten vaak beschouwd worden als doorslaggevend. Hierbij moeten we opmerken dat de term radiologisch risico twee verschillende ladingen kan dekken: het radiologische risico in de zin van het risico op bestraling en het radiologische risico in de zin van inname of inademing van radioactieve stoffen.

Het risico op inname of inademing van radioactieve stoffen wordt gemeten aan de hand van de radiotoxiciteit, een concept dat in het eerste deel van dit document wordt uiteengezet. Om dat risico te beoordelen en te beperken moet NIRAS aan het FANC bewijzen dat bij de oplossing voor langetermijnbeheer van radioactief afval die ze voorstelt de radiotoxiciteit nooit de limieten voor de bevolking en voor het leefmilieu overschrijdt, en dat alvorens de vergunning wordt verkregen om die oplossing te implementeren. In het onderzoek en de ontwikkeling heeft men zich dan ook heel vroeg gebogen over die kwestie. NIRAS heeft onderzocht wat de radiologische impact is van het radioactieve afval in een geologische bergingsinstallatie die overeenstemt met haar referentieconcept. In het SAFIR 2-rapport [7] heeft NIRAS aangetoond dat de bovengrondse radiologische impact van een geologische berging na sluiting, gelet op de Belgische geologie, altijd onder de limieten van het FANC zou blijven.

Het radiologische risico in de zin van het bestralingsrisico heeft hoofdzakelijk betrekking op werknemers die met radioactieve stoffen werken. In het geval van de splijtstofcyclus geldt dat hoe vaker er radioactieve stoffen behandeld moeten worden, hoe hoger het

risico wordt. De betrokken werknemers zijn weliswaar onderworpen aan heel strikte beschermingsregels en de veiligheidsoverheden zien erop toe dat die worden nageleefd. Het radiologische risico wordt door de betrokken actoren benaderd volgens het ALARA-principe (*"As Low As Reasonably Achievable"*).

De keuze voor bepaalde opties binnen de splijtstofcyclus kan andere gevolgen hebben voor het beheer van het radiologische risico. Zo zou een keuze die enkel een volumebeperking van het afval impliceert leiden tot een concentratie van het radioactieve materiaal en tot het ontstaan van twee materiaalstromen: een stroom met materiaal dat een verhoogde radioactiviteit bezit, die noopt tot bijkomende voorzorgsmaatregelen, en een stroom met minder radioactief materiaal dat een lager radiologisch risico inhoudt.

De impact die de transmutatie van afval heeft op het radiologische risico verbonden aan de splijtstofcyclus, moet onder de loep worden genomen. Naast het genereren van secundair afval door de verwerking van splijtstoffen die een eerste keer bestraald werden en de productie van "secundaire splijtstoffen" die in een verbrandingsoven verwerkt kunnen worden, heeft de bestraling van "secundaire splijtstoffen" met het doel om ze om te zetten (te "transmuteren") tot gevolg dat hun radioactiviteit aanzienlijk toeneemt. Transmutatie als optie in de splijtstofcyclus heeft in wezen als doel om het radioactieve materiaal om te zetten in een ander materiaal, dat zelf ook radioactief is, maar zijn radioactiviteit sneller verliest. Een simplistische manier om de transmutatie te beschrijven komt er op neer dat het getransmuteerde materiaal meer straling afgeeft, maar wel gedurende een kortere periode. Transmutatie kan een oplossing zijn voor de tijdsgebonden beperkingen van geologische berging, in die zin dat het afval dat ze bevat in radiologisch opzicht⁷ dan veel minder lang gevaarlijk is, zowel voor het milieu als voor de bevolking. In wezen zou een transmutatiestrategie voorafgaand aan de berging een hoger radiologisch risico inhouden, dat evenwel veel sneller verdwijnt dan voor andere strategieën. Voor de meest doorgedreven transmutatiecycli spreken we van enkele honderden jaren.

De keuze voor een "snellere" splijtstofcyclus heeft tot gevolg dat het radiologische risico voor de werknemers vandaag weliswaar toeneemt, maar dat het langetermijnsrisico voor de bevolking en voor ons leefmilieu aanzienlijk daalt.

De non-proliferatie

Het non-proliferatieaspect heeft betrekking op alle maatregelen die getroffen kunnen worden om te voorkomen dat landen die nog geen kernwapens hebben er zouden ontwikkelen, of dat landen die wel over kernwapens beschikken er meer zouden maken of ze zouden perfectioneren. Om de verspreiding van kernwapens tegen te gaan, worden de materialen en de export van technologieën die geïdentificeerd zijn als betrekking hebbend op de ontwikkeling van kernwapens, streng gecontroleerd.

In het kader van de splijtstofcyclus bestaan de voornaamste maatregelen om de proliferatie te bestrijden erin om te verzekeren dat gevoelige stoffen niet direct beschikbaar zijn en dat ze minder blootgesteld worden aan het risico op diefstal (door bijvoorbeeld het aantal transporten tot het minimum te beperken). Het is volgens die principes dat de keuzes die leiden tot de directe scheiding van plutonium beschouwd worden als risico-

⁷ Die materialen kunnen andere gevaren inhouden die bijvoorbeeld te maken hebben met hun scheikundige eigenschappen.

voller op proliferatievlak dan andere, net zoals de opties waarbij er meer transporten van gevoelig materiaal nodig zijn.

Een materiaalreserve met energiepotentieel

Sinds 1993 en het opschorten van de opwerkingsactiviteit is er geen enkel doeleinde meer voorzien voor het materiaal in de Belgische bestraalde splijtstoffen dat nog opgevaardeerd kan worden (vooral uranium en plutonium).

Het uranium in bestraalde splijtstof bijvoorbeeld kan gerust hergebruikt worden voor de energieproductie. De opwerkingscontracten die in 1976 en 1978 werden gesloten, voor een totaal van 670 tHM brandstof, hebben geleid tot de productie van nieuwe splijtstofelementen (REU en MOX). Daarbij werd iets meer dan 500 tHM verarmd uranium, dat hoofdzakelijk uit uranium 238 bestaat, de eigendom van de verrijkingsfabriek. Het verarmde uranium, waarvan men in België altijd heeft aangenomen dat het geen energetisch potentieel meer had, wordt door andere landen als een strategisch materiaal beschouwd. Het gaat immers om een kweekstof die als brandstof gebruikt zou kunnen worden in reactoren van de nieuwe generatie.

Plutonium, dat uiterst radiotoxisch is, zou doorverkocht kunnen worden aan een derde. In dat geval zou het plutonium overgedragen worden en dus niet in de Belgische geologische bergingsinstallatie terechtkomen, waardoor de radiotoxiciteit van die berging gevoelig zou afnemen. Om het in non-proliferatietermen uit te drukken, als het plutonium wordt gescheiden en overgedragen aan een derde, zou die derde de passende verbintenissen moeten aangaan in verband met het gebruik ervan. Vanuit Belgisch perspectief zou het plutonium dus definitief uit onze splijtstofinventaris verdwijnen, waardoor ook de voorraad met energetisch valoriseerbare stoffen kleiner wordt.

Die leessleutel laat toe om rekening te houden met de materiaalstromen en met de al dan niet toekomstige beschikbaarheid van die materialen in België. Bepaalde strategieën voor het beheer van bestraalde splijtstof zien uranium en plutonium als strategisch nuttige stoffen, terwijl weer andere inhouden dat ze worden doorverkocht of dat een deel van die materialen wordt overgedragen aan een derde land. Hoewel er intussen geen enkel opwerkingscontract meer werd gesloten door Synatom, op grond van de beslissingen uit 1993 en 1998, overstijgt de strategische reikwijdte van de beschikbaarheid van dergelijke materialen het kader voor het beheer van bestraalde splijtstof. Daarom zijn we van mening dat dat aspect duidelijk aangestipt moet worden in elke beheerstrategie: we doen er dan ook alles aan om duidelijk te informeren over wat er met die materialen gebeurt, die we voor elke strategie aanduiden met de algemene term “materialen met energiepotentieel”.

De economische aspecten

Alvorens we ons buigen over de economische aspecten van de splijtstofcyclus, willen we erop wijzen dat die hoofdzakelijk betrekking hebben op Synatom. Synatom is immers verantwoordelijk voor de splijtstofcyclus. De onderneming draagt alle kosten voor de bovenfase van de cyclus en moet provisies aanleggen om de kosten te dekken die de benedenfase van de cyclus genereert. Die provisies worden berekend op basis van de kostenbeoordelingen voor de ontmanteling van installaties en voor het langetermijnbeheer van de bestraalde splijtstoffen door NIRAS. Vervolgens worden ze ter goedkeuring voorgelegd aan de Commissie. Wij wijzen er ook op dat de Europese richtlijn EUR-ATOM/2011/70 stelt dat het uiteindelijk de landen zijn die verantwoordelijk zijn voor het

radioactieve afval dat op hun grondgebied geproduceerd wordt, maar dat die bepaling niet in Belgisch recht werd omgezet. Als de provisies in de toekomst onvoldoende blijken, dan moet België daar dus in tussenkomen.

Het voorstel van nationaal beleid dat NIRAS in 2015 aan haar voogdijoverheid bezorgd heeft voorziet dat de geologische berging zich in België bevindt, in een weinig verharde kleilaag. Welnu, er bestaan in België twee kleilagen die zorgvuldig in kaart zijn gebracht: de Boomse kleilaag (die het minst diep ligt) en de Ieperse kleilaag (dieper gelegen). Uit die kartering blijkt dat hoe noordelijker gelegen, hoe dikker en dieper de kleilagen. De referentiestrategie van NIRAS waarvan de kostprijs in 2013 geraamd is [8], voorziet in een geologische bergingsinstallatie in een laag Boomse klei, op een diepte van ongeveer 225 m, en dat in de regio Mol-Dessel. Het betreft hier een referentiescenario van NIRAS om de nodige berekeningen te kunnen maken, aangezien er tot op heden nog geen beslissing is genomen over de geologische berging en er dus nog zeker geen locatie is bepaald. Het FANC heeft er reeds op gewezen dat andere landen hun geologische bergingen veel dieper zouden leggen en dat het referentiescenario van NIRAS dus in vraag kan worden gesteld.

Op regelmatige basis herevalueert NIRAS het toekomstige kostenplaatje voor de bergingsinstallatie van haar referentiescenario. Bij de oefening van 2013 is uit een raming gebleken dat berging op dezelfde plek, maar dan in Ieperiaanklei, ongeveer 10 % duurder zou zijn dan de referentiestrategie (opbouw in de Boomse kleilaag). Een bijwerking van die kostenraming is gepland voor 2018 en zal gebaseerd zijn op een bijgewerkt design van de bergingsinstallatie, op de bijgewerkte referentieprogramma's van de producenten en op een nieuw referentiescenario van NIRAS (planning, oppervlakteinstallaties, personeelsbeheer, enz.).

De referentiestrategie van 2013, die dient om de tarieven van NIRAS te ramen, was gebaseerd op het referentieprogramma van Synatom dat voorzag in de volledige opwerking van de bestraalde splijtstof. Dat referentieprogramma van Synatom zou leiden tot een aanzienlijke daling van het afval van categorie C, deels tenietgedaan door de meerproductie van afval van categorie B bij de verwerking van de splijtstof. Aangezien NIRAS haar tarieven berekent door de prijs van het referentiescenario in te delen per afvalcategorie (B of C) en vervolgens per verpakkingseenheid, met inachtneming van hun afvalinventaris, heeft elke wijziging van de afvalinventaris of van de verdeling van het afval tussen categorie B of categorie C een impact op de prijs van het afval dat ten laste valt van de Staat⁸.

De kostprijs voor een geologische bergingsinstallatie die gebruikmaakt van een "referentieprogramma" van niet-opwerking voor Synatom werd geraamd als zijnde duurder⁹ dan het referentiescenario [9]. Zo impliceert de strategie niet-opwerking waarbij het afvalvolume van categorie C aanzienlijk blijft, een relatief groot aandeel van de kostprijs voor geologische berging van afval van categorie C en dus een vermindering van de kos-

⁸ De Belgische Staat staat in voor industrieel radioactief afval via drie fondsen met passiva. Dat is hoofdzakelijk afval van categorie B en – volgens onze ramingen op basis van de inventaris van NIRAS – vertegenwoordigt het ongeveer 60 % van het totale afvalvolume van categorie B.

⁹ Dat scenario is duurder met betrekking tot de component "langetermijnbeheer van het radioactieve afval afkomstig van de splijtstofcyclus" maar, uit hoofde van Synatom, wordt die kostenverhoging getemperd door de kostprijs van de opwerking van de complete inventaris van bestraalde splijtstoffen.

ten voor de Belgische Staat voor het beheer van het afval waarvoor hij verantwoordelijk is.

Naast de kosten voor de bergingsinstallatie omvatten bepaalde strategieën die in deze studie aan bod komen ook een aantal bijkomende verwerkingen van het radioactieve afval en van de bestraalde splijtstof. Met uitzondering van de strategie van (volledige of gedeeltelijke) opwerking, waarbij de opwerkingskosten gedragen worden door Synatom omdat die instantie tussenkomt bij de verwerking van bestraalde splijtstoffen die niet als afval verklaard zijn, wordt er op dit moment geen rekening gehouden met die bijkomende verwerking in de berekening van de nucleaire provisies. De verwerkingen die gepland zijn in de andere strategieën hebben immers tot doel de conditionering van het afval te verbeteren en vinden plaats nadat NIRAS ervoor gezorgd heeft.

De mogelijkheid voor NIRAS om gebruikte splijtstoffen te verwerken alvorens ze te bergen, is nooit in aanmerking genomen en de kostprijs van een dergelijke operatie werd nooit geïntegreerd in de berekeningen van haar tarieven. Indien men daarna opteert voor een van de andere trajecten, die tot nu toe niet werden overwogen, dan is het aannemelijk dat de kosten voor die verwerking betaald worden via de provisies via de toepassing van de leidende principes. Indien er echter geen middel meer bestaat om die provisies te spijzen (bij voorbeeld omdat de maatschappij haar activiteiten staakt), wordt het risico dat ze niet volstaan en dat de Staat extra moet bijspringen des te groter naarmate de beslissing later wordt genomen.

19

De eventuele financiële gevolgen van de keuze voor een bepaalde strategie zijn moeilijk in te schatten, omdat er voor de verschillende strategieën algemeen genomen extra onderzoek nodig is. Dat kost geld, en daarbij komen ook nog de kosten voor de bijkomende verwerking en voor beheer van het afval dat uiteindelijk geborgen wordt (berging en opslag). Anderzijds zouden die kosten gecompenseerd kunnen worden door de mogelijkheid om een nieuw expertisedomein te ontwikkelen in België (en dus een eventuele economische activiteit) en door de eventuele winst die gegenereerd wordt door het volume te beperken en door de conditionering voor geologische berging te optimaliseren.

Kiezen voor een strategie die een reeks bijkomende stappen inhoudt, heeft met andere woorden budgettaire gevolgen, maar heeft ook een positief effect op het onderzoek, op de economische activiteit en op de veiligheid en de omvang van de bergingsinstallatie. We wijzen nog eens op het feit dat volgens onze hypothesen de kerncentrales ten laatste in 2025 definitief uitgeschakeld zijn en dat Electrabel na die datum dus minder inkomsten zal genereren om de nucleaire provisies aan te leggen.

We moeten ook verduidelijken dat de aanleg van de nucleaire provisies gebeurt op basis van verschillende werkhypothesen, die nodig zijn om te ramen wat het beheer van radioactief afval ons in de toekomst kost. Die hypothesen zijn onder andere de stabiliteit van het financieel stelsel tot de geologische berging wordt afgesloten, en zelfs erna, een vastgestelde discontovoet en een vastgesteld inflatiecijfer (discontovoet toegepast op de provisies van Synatom werd eind 2016 trouwens naar beneden herzien, hetgeen een niet te verwaarlozen impact heeft gehad op de te provisioneren bedragen [10]). In de afvaltarieven zijn bovendien veiligheidsmarges ingebouwd om te verzekeren dat de reële kostprijs zeker gedekt wordt, maar hoe langer het beheer wordt uitgesteld, hoe hoger het risico dat de provisies niet volstaan. Het is deels om die redenen dat we de discussies hebben beperkt aan de hand van een hypothese over het naleven van de planning voor het referentiescenario van NIRAS van 2013.

4.2. Strategie A: niet-opwerking

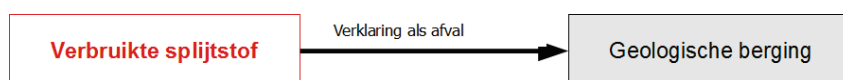
Omschrijving

De bestraalde splijtstof wordt ontladen uit de kernreactoren. Ze wordt door Synatom aangegeven als afval en overgebracht naar NIRAS volgens de modaliteiten (conditionering, acceptatiecriteria, overdracht van aansprakelijkheid) die ze onderling zijn overeengekomen of die het wettelijk kader oplegt.

De verbruikte splijtstof wordt vervolgens minstens 60 jaar opgeslagen¹⁰ om af te koelen. We gaan ervan uit dat de bestaande of geplande infrastructuur wordt benut.

Zodra de bestraalde splijtstof overgebracht kan worden naar de geologische bergingsinstallatie, wordt ze door NIRAS eerst finaal geconditioneerd alvorens ze op te slaan.

Figuur 1. Schematische weergave van strategie A: niet-opwerking.



Tijdslijn

We kunnen een aantal belangrijke datums bepalen voor deze strategie, gebaseerd op de voorziene planning voor het referentiescenario van NIRAS van 2013.

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijtstoffen; opwerking wordt definitief aan de kant geschoven; bouw van een extra opslagplaats;
- **2018-2075:** Synatom ziet definitief af van de opwerking; de bestraalde splijtstof wordt door Synatom als afval aangegeven en komt ten laste van NIRAS;
- **2019:** opbouw van bijkomende opslaginstallaties in Doel en Tihange;
- **2022:** ingebruikname van nieuwe centrale opslagruimtes in Doel en Tihange;
- **2025:** definitieve kernuitstap;
- **2032:** start van de bouw van de gemeenschappelijke geologische bergingsinstallatie voor B- & C-afval;
- **2075:** uiterste termijn voor bevestiging van de opslag van verbruikte splijtstoffen;
- **2092:** start van de graafwerken om de galerijen aan te leggen voor de geologische berging van afval van categorie C, de geconditioneerde verbruikte splijtstoffen inclusief;
- **2100:** start van de berging van de geconditioneerde verbruikte splijtstoffen;
- **2110:** einde van de berging van de geconditioneerde verbruikte splijtstoffen;
- **2121:** start van de toezichtsfase (omkeerbaarheid); sluiting van de bergingsinstallatie.

Analyse

Deze strategie is een van de twee strategieën die officieel overwogen worden sinds de parlementaire resolutie van 1993. Ze werd in die vorm al in detail onder de loep geno-

¹⁰ De opslag zou verzekerd kunnen worden door SYNATOM of door NIRAS naargelang de eigendomsoverdracht reeds heeft plaatsgevonden of niet; dat maakt niet echt uit voor het goede verloop van de strategie.

men door de Commissie voor nucleaire voorzieningen, zowel op financieel als op technisch vlak. Niettemin wijzen wij erop dat de strategie die in dat kader bestudeerd is, strookte met het referentieprogramma van Synatom en niet met een meer generieke strategie zoals die welke in dit document is voorgesteld. Het verschil heeft te maken met de aangifte als afval die in het referentieprogramma van Synatom plaatsvindt van zodra dat mogelijk is, na conditionering in flessen van de verbruikte splijtstoffen. Vervolgens zorgt NIRAS voor de opslag van de in flessen ondergebrachte verbruikte splijtstoffen, in afwachting van de geologische berging ervan.

De afkoelingstermijn van 60 jaar is enerzijds nodig om te voorkomen dat een te sterke warmteafgifte de geologische berging op het spel zet, en houdt anderzijds in dat de eerste bestraalde splijtstoffen in theorie geborgen kunnen worden tegen 2040. NIRAS plant wel om het afval dat geborgen moet worden te groeperen in drie campagnes, waarbij elke afvalgroep toegewezen wordt aan een gedeelte van de geologische bergingsinstallatie. De planning van NIRAS voorziet erin dat de bestraalde splijtstoffen geborgen worden tijdens de laatste van de drie bergingscampagnes, in het tweede gedeelte van de installatie. Op die manier kunnen de bergingsoperaties zo snel mogelijk aanvatten. Zodra de eerste twee campagnes zijn afgerond, kan het eerste deel van de installatie dan worden afgesloten en kan het tweede deel, waar de verbruikte splijtstof in ondergebracht wordt, uitgegraven en gebouwd worden. Zo voorkomt NIRAS dat een groot deel van de ondergrondse installatie lange tijd open ligt zonder dat ze gebruikt wordt. Volgens de voorziene planning voor de NIRAS-referentiestrategie zal de minimumtermijn van 60 jaar verstreken zijn voor alle bestraalde splijtstoffen, zelfs die ontladen in 2025, en zullen ze dus tijdig geborgen kunnen worden.

Een ander gevolg van die planning is dat de verbruikte splijtstoffen bovengronds worden opgeslagen tot aan hun definitieve berging. Daar moeten we aan toevoegen dat Synatom een flesconcept heeft ontwikkeld (voorgesteld in het eerste deel van dit document) dat het mogelijk zou moeten maken om de elementen te voorconditioneren. Die voorconditionering kan vrij “vroeg” worden gedaan om zo een barrière op te trekken rond de splijtstof en om de veilige opslag ervan te verzekeren, maar tot op heden is daarover nog geen formele beslissing genomen (gebonden aan de goedkeuring door de regulator).

We benadrukken niettemin dat de opslag bovengronds zal gebeuren, wat inhoudt dat de strategie van “niet-opwerking” in feite overeenstemt met een scenario waarbij de verbruikte splijtstof eerst opgeslagen wordt, om ze vervolgens tegen 2090 rechtstreeks te bergen. Een dergelijke strategie levert de nodige flexibiliteit op in het beheer van de splijtstoffen, ze blijven immers gedurende een lange periode terugneembaar zonder dat daar uitvoerige en dure manipulaties voor nodig zijn. Omdat de bestraalde splijtstof niet behandeld wordt voor ze wordt geborgen, komt al het materiaal dat ze bevat, of het nu gaat om potentiële energiebronnen of om afval (lagere actiniden en splijttingsproducten), terecht in de berging. Dat heeft een aantal consequenties:

- Omdat het aantal behandelingen beperkt blijft in deze strategie, is het radiologische risico voor de werknemers minimaal.
- De splijtstoffen worden niet samengeperst, waardoor bij deze strategie het afval het grootste volume inneemt en de vereiste lengte van de galerijen het langst is.
- Al het materiaal dat de bestraalde splijtstof bevat, wordt in de geologische bergingsinstallatie geplaatst, in een verpakking die bestand moet zijn tegen alle aanwezige chemische stoffen en dat over een tijdsspanne die overeenstemt met de langste vervalperiodes.

- Materiaal dat beschouwd zou kunnen worden als een potentiële energiebron wordt in de geologische bergingsinstallatie ondergebracht. Dat kan aanzetten tot een latere terugname van dat materiaal, wat de integriteit van de installatie zou kunnen schenden.
- Plutonium, dat een hoog proliferatierisico heeft, blijft aanwezig in de splijtstoffen. Ook al bestaat de technologie voor scheiding en wordt ze beheerst, toch is er tot op heden geen scheiding gebeurd.
- In het geval van deze strategie kan het onderzoek uitsluitend toegespitst worden op het concept van geologische berging.

Op basis van onze algemene hypothesen schatten we dat een realistische limietdatum om de berging van de verbruikte splijtstoffen definitief te bevestigen ergens in de buurt van 2075 ligt. Eens de strategie bevestigd is, moeten de studies om de afmetingen van de geologische bergingsinstallatie te bepalen onmiddellijk worden aangevat, zodat de vergunnings- en de bouwphase van de galerijen voorbereid kunnen worden zonder achterstand ten opzichte van de voorziene planning (2092). Door de bestemming van de verbruikte splijtstof na 2075 nog te wijzigen, bestaat het risico dat de bergingsoperaties vertraging oplopen ten opzichte van de voorziene planning voor het referentiescenario van NIRAS.

4.3. Strategie B: volledige opwerking

Omschrijving

Synatom vraagt de opwerking van zijn gehele inventaris van bestraalde splijtstoffen en dat verzoek wordt ingewilligd. Synatom gaat in op die toelating en sluit een of meerdere opwerkingscontracten af voor alle bestraalde splijtstoffen. De bestraalde splijtstof die reeds voldoende is afgekoeld, wordt onmiddellijk overgebracht naar de opwerkingsinstallaties. De splijtstof die nog niet voldoende heeft kunnen afkoelen, wordt in koelbekkens geplaatst tot ze vervoerd kan worden naar een opwerkingsfabriek.

Tijdens de opwerking worden de splijtstofelementen chemisch gescheiden volgens het PUREX-procedé (beschreven in het algemeen informatiedocument over de splijtstofcyclus in België van de FOD Economie), wat toelaat:

- om enerzijds de materialen te herwinnen die nog een energiepotentieel hebben, anders gezegd uranium en plutonium, en die opnieuw gebruikt zouden kunnen worden voor de elektriciteitsproductie;
- om anderzijds de materialen te scheiden die geen energiepotentieel bezitten en die beschouwd worden als afval, anders gezegd de splijttingsproducten en lagere actiniden.

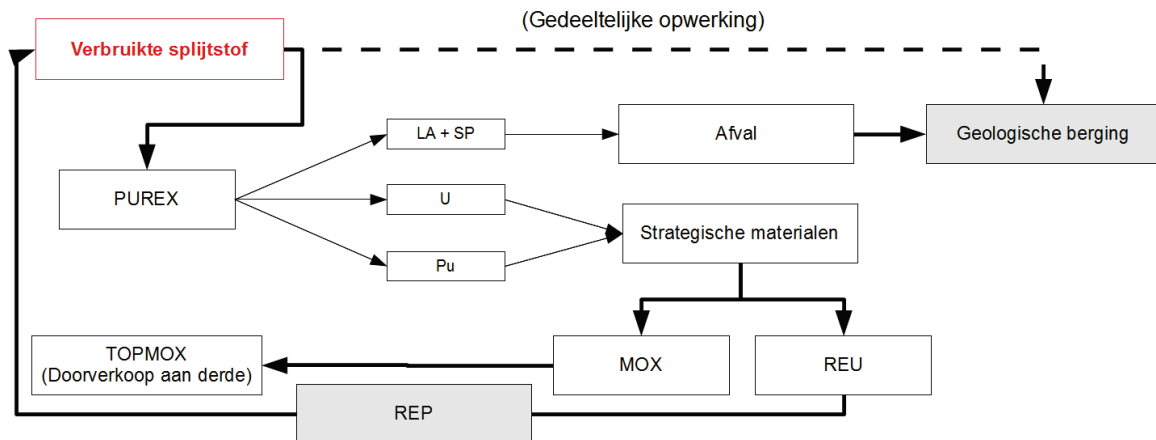
Het opgewerkte uranium kan opnieuw verrijkt worden om er “REU”-splijtstofelementen mee te maken (het verarmde uranium blijft in Frankrijk), het plutonium kan dienen voor de productie van “MOX”-elementen die gebruikt zouden kunnen worden in onze reactoren indien zij nog steeds een vergunning hebben om die splijtstof te gebruiken (Tihange 2 en Doel 3 hebben die vergunning in het verleden verkregen maar momenteel is zij niet meer van toepassing en er zullen nieuwe veiligheidsstudies nodig zijn om ze opnieuw te verkrijgen).

Tot aan de sluiting van de laatste reactoren wordt de REU-splijtstof maximaal benut, binnen de toegelaten en technisch haalbare grenzen. Na 2025 wordt het splijtbare mate-

“De voorwaarden scheppen voor een competitieve, duurzame en evenwichtige werking van de goederen- en dienstenmarkt in België.”

riaal dat gescheiden wordt in de opwerkingsfabriek, maar niet meer gebruikt kan worden in onze reactoren, doorverkocht en dus niet geologisch geborgen in België.

Figuur 2. Schematische weergave van strategieën B en C: opwerking (volledig of gedeeltelijk).



Niet-valoriseerbare materialen worden geconditioneerd in de opwerkingsfabriek en geleidelijk gerepatriëerd naar België met het oog op hun langetermijnbeheer. Zodra al het afval vanuit de opwerkingsfabriek weer naar België is overgebracht, kan NIRAS starten met de voltooiing van haar plannen voor de geologische bergingsinstallatie. Die zou aangelegd moeten kunnen worden zonder vertraging ten opzichte van de voorziene planning.

23

Tijdslijn

Deze strategie verloopt als volgt:

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijstoffen; opwerking wordt opnieuw toegestaan en Synatom sluit een of meerdere opwerkingscontracten voor alle bestraalde splijstoffen;
- **2018-2025:** naar aanleiding van een verzoek van Synatom wordt opwerking opnieuw toegelaten en sluit Synatom een of meer opwerkingscontracten voor al zijn bestraalde splijstoffen;
- **Nog onbepaald:** de opwerking wordt heropgestart en de bestraalde splijstof wordt voor opwerking verzonden naar de door Synatom gekozen contractant; desgevallend wordt de splijstof uit die opwerking gebruikt in de Belgische kernreactoren die nog in gebruik zijn;
- **2025:** definitieve kernuitstap; de opgewerkte splijstoffen kunnen niet meer bestraald worden in België, het overschot van het opgewerkte materiaal wordt gevaloriseerd door Synatom; de colli met radioactief afval dat ontstaan is bij de opwerking worden geleidelijk overgebracht naar België;
- **2032:** start van de bouw van de gemeenschappelijke geologische bergingsinstallatie voor B- & C-afval;
- **2035-2050:** einde van de repatriëring van de afvalcollo afkomstig uit de opwerking; definitieve inventaris van het radioactieve afval dat is ontstaan bij de opwerking;

- **2092:** start van de graafwerken om de galerijen van de bergingsinstallatie aan te leggen voor de geologische berging van radioactief afval van categorie C en het afval afkomstig uit de splijtstofcyclus;
- **2100:** start van de berging van het afval afkomstig uit de splijtstofcyclus;
- **2110:** einde van de berging van het afval afkomstig van de splijtstofcyclus;
- **2121:** start van de toezichtsfase (omkeerbaarheid); sluiting van de bergingsinstallatie.

Analyse

Deze strategie gaat ervan uit dat opwerking opnieuw toegelaten wordt en dat Synatom zijn volledige inventaris met bestraalde splijtstoffen laat opwerken. Het gaat hier om de andere van de twee strategieën die sinds de debatten in 1993 officieel worden overwogen. Net zoals de strategie van niet-opwerking werden ook voor deze strategie de technische en de financiële aspecten in detail bestudeerd door de Commissie voor nucleaire voorzieningen.

Het voordeel dat men vaak naar voren schuift voor deze strategie, is dat door alle splijtstof op te werken het volume afval van categorie C vermindert, met die kanttekening dat de hoeveelheid afval van categorie B dan wel toeneemt. De afname van het volume uitgedrukt in m³ geeft evenwel geen concrete aanwijzingen op het vlak van opslagomstandigheden: samenpersen van afval leidt tot een grotere concentratie van de radiotoxiciteit en tot een felle warmteafgifte. Volgens de huidige schattingen zou de totale lengte van de galerijen van de geologische berging met 20 % afnemen ten opzichte van de strategie van niet-opwerking (het volume afval van categorie C zou met 86 % afnemen, de totale hoeveelheid afval met 22 %).

Wat het hergebruik van uranium en plutonium betreft, moeten we erop wijzen dat er meerdere jaren nodig zijn om alle vereiste handelingen uit te voeren, van het verzenden van de bestraalde splijtstof naar de opwerkingsfabriek tot de repatriëring van die splijtstof. Bijgevolg, zelfs al zou men vandaag nog kunnen beginnen met de opwerking, is het weinig waarschijnlijk dat de splijtstof uit die opwerking in de Belgische reactoren kan gebruikt worden aangezien zij in 2025 ten laatste uit gebruik moeten worden genomen. Het uranium uit opwerking zou dan vermoedelijk verkocht worden en het verarmde uranium dat de verrijking voortbrengt, zou in de verrijkingsfabriek achterblijven (ongeveer 85 % van het uranium).

Wanneer het gebruik van MOX in een reactor trouwens een bepaalde verhouding¹¹ overschrijdt, dan zijn er een aantal aanpassingen nodig en moet er ook een specifieke vergunning worden aangevraagd (een lang en duur proces). Synatom heeft al aangegeven dat een dergelijke investering niet langer wordt overwogen, aangezien ze voor 2025 toch niet zou renderen. De huidige Belgische conjunctuur waarin de kernuitstap (en de onmogelijkheid om opgewerkte materialen te gebruiken) gecombineerd wordt met de moeilijkheid om een koper te vinden voor de opgewerkte materialen (zowel juridische als commerciële moeilijkheden) en met een lage uraniumprijs op de markten, heeft als gevolg dat deze strategie op weinig of geen belangstelling kan rekenen vanwege een privé-speler zoals Synatom. Bij deze strategie komen wel meer handelingen kijken dan bij niet-opwerking: de bestraalde splijtstoffen moeten vervoerd worden naar de opwerkingsfabriek, gescheiden worden en vervolgens moet het afval worden teruggestuurd;

¹¹ Voor de Belgische reactoren wordt een limiet van 20 % MOX gehanteerd.

en na herverrijking en herconditionering in splijtstofelementen moet de REU-brandstof gerepatrieerd worden om in de Belgische centrales te kunnen worden gebruikt.

Indien de opwerking plaatsvindt bij Areva, in Frankrijk, worden L.A. en S.P. die ontstaan bij de opwerking, verglaasd en vervolgens in canisters van 180 l geplaatst en worden de brandstofelementen samengeperst en eveneens in canisters geplaatst. Dat proces is zo ontworpen dat het moeilijk omkeerbaar is; in dezelfde zin is ook de herverkoop van plutonium aan een derde, op Belgische schaal, niet omkeerbaar. Als men voor deze strategie opteert, dan zouden er dus canisters met verglaasd en samengeperst afval in de geologische berging moeten worden ondergebracht (of het afval dat ze voortbrengen indien het elders opgewerkt wordt).

Wegens de termijnen¹² voor de recuperatie van het afval uit opwerking en wegens de afkoelingstermijn voor het afval uit opwerking alvorens het kan opgeslagen worden (60 jaar volgens NIRAS), vereist deze strategie wel dat er op korte termijn een beslissing wordt genomen en sluit zij *de facto* alle andere mogelijke strategieën voor het beheer van de bestraalde splijtstof uit. De O&O-behoefte worden toegespitst op een geologische bergingsinstallatie in de vorm die is afgestemd op deze strategie.

De kans is klein dat de strategie van opwerking van de volledige inventaris wordt toegepast in ons land, ook al het gaat om een van de twee strategieën die tot op heden officieel overwogen werden.

4.4. Strategie C: gedeeltelijke opwerking

Omschrijving

Deze strategie veronderstelt dat opwerking opnieuw wordt toegelaten in België. Synatom gaat in op die toelating en sluit een of meerdere opwerkingscontracten af voor een deel van haar bestraalde splijtstoffen. De bestraalde splijtstof die geselecteerd wordt voor opwerking wordt bepaald door Synatom. De splijtstof die niet geselecteerd is voor opwerking, blijft in de centrale opslageenheden. Indien nodig wordt er een extra opslageenheid gebouwd. De keuze van de strategie voor het langetermijnbeheer van de opgeslagen splijtstof is nog open.

Bij de opwerking worden de splijtstofelementen chemisch gescheiden volgens het PURES-procedé, wat toelaat:

- om enerzijds de materialen te herwinnen die nog een energiepotentieel hebben, anders gezegd uranium en plutonium, en die opnieuw gebruikt zouden kunnen worden voor de elektriciteitsproductie;
- om anderzijds de materialen te scheiden die geen energiepotentieel bezitten en die beschouwd worden als afval, anders gezegd de splijtingsproducten en lagere actiniden.

Het opgewerkte uranium kan opnieuw verrijkt worden om er “REU”-splijtstofelementen mee te maken, het plutonium kan dienen voor de productie van “MOX”-elementen die gebruikt kunnen worden in onze reactoren als die nog steeds een vergunning hebben om die splijtstof te gebruiken (Tihange 2 en Doel 3 hebben die vergunning in het verleden

¹² Tussen de opwerkingscapaciteit van de fabriek en de hoeveelheid op te werken materialen voorziet het referentiescenario van NIRAS de terugkeer van het laatste afval tussen 2035-2040 bij een beslissing tot onmiddellijke heropstart van de opwerking.

verkregen maar momenteel is zij niet meer van toepassing en er zullen nieuwe veiligheidsstudies nodig zijn om ze opnieuw te verkrijgen). Tot aan de sluiting van de laatste reactoren wordt de opgewerkte splijtstof maximaal benut, binnen de toegelaten en technisch haalbare grenzen. Na 2025 worden de splijtstoffen die in de opwerkingsfabriek gescheiden zijn en die niet opnieuw in onze reactoren gebruikt kunnen worden, verkocht worden en niet geologisch geborgen worden in België.

Niet-valoriseerbare materialen worden geconditioneerd in de opwerkingsfabriek en geleidelijk repatrieerd naar België met het oog op hun langetermijnbeheer. Zodra al het afval vanuit de opwerkingsfabriek weer naar België is overgebracht, kan NIRAS starten met de voltooiing van haar plannen voor de geologische bergingsinstallatie. Die zou aangelegd moeten kunnen worden zonder vertraging ten opzichte van de voorziene planning.

Tijdslijn

Deze strategie verloopt als volgt:

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijtstoffen; opwerking wordt opnieuw toegestaan en Synatom sluit een of meerdere opwerkingscontracten voor een deel van haar bestraalde splijtstoffen;
- **2018-2025:** naar aanleiding van een verzoek van Synatom wordt de opwerking heropgestart en worden een maximaal aantal splijtstofelementen uit die opwerking gebruikt in de Belgische kernreactoren die nog in gebruik zijn;
- **2018-2075:** de niet-opgewerkte bestraalde splijtstoffen worden door Synatom aangegeven als afval en worden overgenomen door NIRAS
- **2025:** kernuitstap;
- **Nog onbepaald:** de colli met radioactief afval dat ontstaan is bij de opwerking worden vanuit Frankrijk geleidelijk overgebracht naar België;
- **2032:** start van de bouw van de gemeenschappelijke bergingsinstallatie voor B- & C-afval;
- **Nog onbepaald-2050:** einde van de repatriëring van de afvalcollo afkomstig uit de opwerking in functie van het gedeelte opgewerkte splijtstoffen; definitieve inventaris van het radioactieve afval dat is ontstaan bij de opwerking;
- **2092:** start van de graafwerken om de galerijen aan te leggen voor de geologische bergingsinstallatie voor afval van categorie C en van het afval afkomstig uit de splijtstofcyclus;
- **2100:** start van de berging van radioactief afval afkomstig uit de splijtstofcyclus (afval geproduceerd bij de opwerking of verbruikte en geconditioneerde splijtstof);
- **2110:** einde van de bergingscampagne;
- **2121:** start van de toezichtsfase (omkeerbaarheid); sluiting van de bergingsinstallatie.

Analyse

Het referentieprogramma van Synatom houdt rekening met de opwerking van ongeveer 1.200 tHM splijtstof (d.i. iets minder dan 25 % van de provisionele inventaris van bestraalde splijtstoffen die ontladen zijn uit de Belgische reactoren) zonder terugkeer van

“De voorwaarden scheppen voor een competitieve, duurzame en evenwichtige werking van de goederen- en dienstenmarkt in België.”

gescheiden materialen. Synatom selecteert zelf de brandstofelementen die verstuurd worden voor opwerking.

De splijtstofelementen die niet worden geselecteerd voor opwerking, blijven in de opslagplaatsen. Voor die elementen moet er een strategie van gescheiden beheer worden uitgewerkt. Daar moeten we aan toevoegen dat het scenario van gedeeltelijke opwerking voorgesteld door Synatom erin voorziet dat de niet-opgewerkte splijtstoffen beheerd worden volgens de strategie van niet-opwerking.

Aangezien de inventaris afval bevat afkomstig uit de opwerkingsactiviteiten van voor de opschorting in 1993, vergt de keuze voor gedeeltelijke opwerking geen andere O&O-inspanningen dan het onderzoek om de geologische bergingsinstallatie optimaal te benutten in de vorm die overeenstemt met deze strategie. Omdat de strategie voor de splijtstof die niet wordt opgewerkt evenwel nog moet worden gekozen, hangt de O&O-behoefte af van het gekozen scenario om de rest van de bestraalde splijtstofelementen te beheren.

Net zoals voor de totale opwerking vereist deze strategie dat men snel de nodige beslissingen neemt (voornamelijk met betrekking tot de machtiging om op te werken en de betrokken hoeveelheden) zodat ze kan worden uitgevoerd zonder afbreuk te doen aan het referentiescenario van NIRAS.

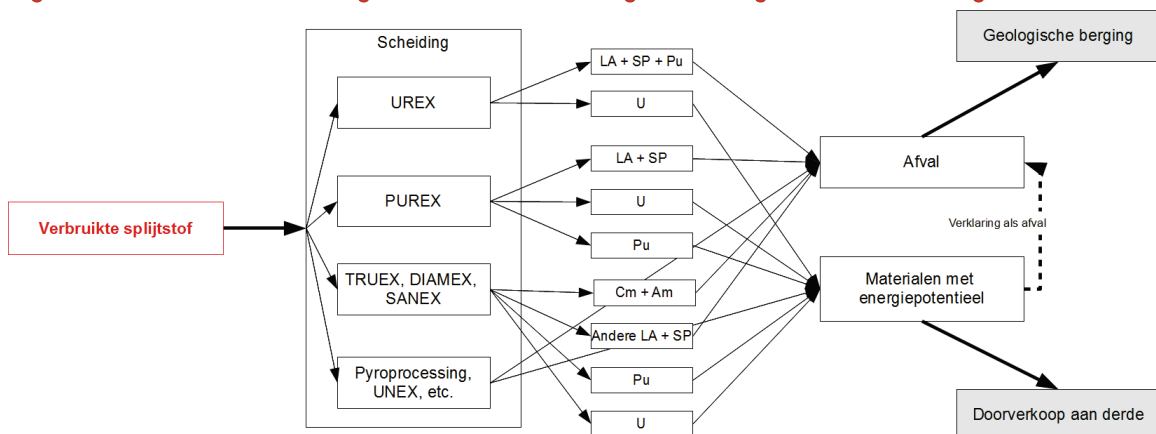
4.5. Strategie D: doorgedreven scheiding

27

Omschrijving

Met uitzondering van het PUREX-procedé worden de scheidingstechnieken niet op industriële schaal toegepast, ook al wordt het merendeel reeds gebruikt op kleinere schaal. Deze strategie zou dus beginnen met een O&O-fase om een strategie te bestuderen, te kiezen en op industriële schaal te ontwikkelen voor de optimale scheiding / conditionering van onze bestraalde splijtstof. Die onderzoeksfase kan volledig in België gebeuren of, wat meer waarschijnlijk is, op internationaal niveau.

Figuur 3. Schematische weergave van beheerstrategie D: doorgedreven scheiding.



Eens de beheerstrategie is bepaald, wordt de verbruikte splijtstof overgebracht naar de opwerkingsfabriek. Daar wordt ze gescheiden in verschillende stromen, afhankelijk van de gekozen strategie. Voor de afvalstromen wordt een specifieke conditionering voorzien, afhankelijk van de chemie in de stroom in kwestie. Materialen met een proliferatie-

risico worden zodanig verwerkt dat dat risico maximaal wordt geneutraliseerd (door ze niet te scheiden of door ze definitief immobiel te maken aan de hand van onomkeerbare processen), materialen met energiepotentieel worden doorverkocht. Het afval wordt, indien het in het buitenland wordt verwerkt, gerepatriëerd naar België en opgeslagen in afwachting van definitieve berging.

We gaan ervan uit dat alle scheidings-, conditionerings- en eventuele repatriëringsoperaties tijdig kunnen worden uitgevoerd zodat het B- en het C-afval kan worden ondergebracht in een gemeenschappelijke geologische bergingsinstallatie, die nagenoeg even groot zal zijn als de berging voor strategie B.

Tijdslijn

Het geplande verloop ziet er als volgt uit:

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijtstoffen;
- **2018-2025:** investeringen in O&O om een Belgische scheidings- en conditioneringsstrategie uit te werken;
- **2019:** bouw van bijkomende opslaginstallaties in Doel en Tihange
- **2022:** ingebruikneming van nieuwe centrale opslagruimtes in Doel en Tihange
- **2025:** kernuitstap; vervolg van de studies rond een Belgische scheidings- en conditioneringsstrategie;
- **2032:** start van de bouw van de gemeenschappelijke bergingsinstallatie voor B- & C-afval;
- **2045:** uiterste datum voor de keuze van een scheidings-/ conditioneringsstrategie; start van het onderzoek om de procedés op industriële schaal te ontwikkelen;
- **2055:** uiterste datum voor ingebruikname van de verwerkingsfabriek voor doorgedreven scheiding van bestraalde splijtstoffen;
- **2075:** de inventaris met te bergen radioactief afval moet voldoende gevorderd zijn om de finale studies voor de gemeenschappelijke geologische bergingsinstallatie voor B- en C-afval aan te vatten;
- **2092:** start van de graafwerken om de galerijen van de bergingsinstallatie aan te leggen voor de geologische berging van afval van categorie C en voor afval afkomstig uit de splijtstofcyclus;
- **2100:** start van de berging van radioactief afval afkomstig uit de splijtstofcyclus (afval geproduceerd bij de opwerking of verbruikte en geconditioneerde splijtstof);
- **2110:** einde van de bergingscampagne;
- **2121:** start van de toezichtsfase (omkeerbaarheid); sluiting van de bergingsinstallatie.

Analyse

We stellen vast dat de bestraalde splijtstoffen heel wat verschillende chemische elementen bevatten, allemaal met hun eigen isotopen, die op hun beurt hun eigen fysisch-chemische eigenschappen bezitten. Als de bestraalde splijtstof rechtstreeks wordt geborgen, dan moeten de kunstmatige barrières van de geologische bergingsinstallatie en het gastgesteente waarin die zich bevindt, ervoor zorgen dat al die chemische elementen

lang genoeg worden ingesloten om de veiligheid van de bevolking en van het leefmilieu te waarborgen. Deze strategie is gebaseerd op het idee om het gebruik van een scheidingstechniek en van conditioneringstechnieken te combineren en zo optimale kunstmatige barrières te kunnen aanleggen voor het geselecteerde afval dat het meest ongunstig is voor geologische berging.

Tot op vandaag wordt enkel het PUREX-scheidingsprocedé daadwerkelijk toegepast op industriële schaal, een techniek waar men intussen tientallen jaren ervaring mee heeft. De O&O-inspanningen omtrent andere scheidingstechnieken gaan voort, maar hebben nog niet dezelfde maturiteit bereikt [11]. En scheiding wordt eigenlijk enkel overwogen in het geval van opwerking van uranium en plutonium, terwijl er ook andere doeleinden denkbaar zijn:

- niet-scheiding van plutonium om proliferatie tegen te gaan,
- de scheiding van americium (dat veel warmte afgeeft) om de thermische belasting in de geologische bergingsinstallatie te beperken,
- de scheiding van chemische stoffen (die uiterst beweeglijk zijn in het beschouwde milieu) om ze apart te immobiliseren met gebruik van toepassingsgerichte matrices enz.

Ook de vraag omtrent de bouw van een gespecialiseerde opwerkingsfabriek blijft. Die fabriek zou opgetrokken kunnen worden in België of in het buitenland en zelfs kunnen leiden tot een nieuwe economische activiteit indien ook andere landen opteren voor het traject van doorgedreven scheiding. De fabriek zou weliswaar een beperkte capaciteit hebben. Welnu, de totale voorraad met Belgische bestraalde splijtstof die moet verwerkt worden, bedraagt ongeveer 5000 tHM. Als we willen vermijden dat de berging van radioactief afval uit de splijtstofcyclus moet worden uitgesteld, dan is die capaciteitskwestie van doorslaggevend belang. Het wordt in elk geval een van de factoren die de termijn om voor deze strategie te kiezen kan beperken, zonder de berging van afval uit de splijtstofcyclus tegen 2010 op de helling te zetten. In die omstandigheden lijkt 2045 een aanvaardbare uiterlijke termijn om een scheidingsprocedé en conditioneringstechnieken te kiezen, zodat er ten laatste tegen 2055 een verwerkingsfabriek met beperkte capaciteit kan worden opgestart.

De bestemming van de stromen met gescheiden materialen zal afhangen van het gekozen procedé en van de locatie van de verwerkingsfabriek. Het is wel denkbaar dat er een bepaalde afvalstroom verwerkt en geconditioneerd wordt in afwachting van geologische berging en dat de scheiding van plutonium geen verplichting is binnen deze strategie; die hangt af van de gekozen beheerstrategie. De doorverkoop van materiaal met energiepotentieel zou overwogen kunnen worden.

Het aantal operaties in deze strategie is vrij aanzienlijk door de verschillende stadia voor scheiding, verwerking en conditionering van de verbruikte splijtstof. En het scheidingsprocedé brengt normaal gezien een te bergen afvalvolume voort dat kleiner is, maar wel een hogere radiotoxiciteit heeft. Tijdens de onderzoeksfase die moet leiden tot de keuze voor een gedetailleerde scheidings- en conditioneringsstrategie, worden de bestraalde splijtstoffen onbehandeld opgeslagen. Zolang de scheiding en de bijhorende conditionering van de splijtstof niet zijn gebeurd, biedt deze strategie dan ook een vrij hoge flexibiliteit.

Alle operaties voorzien binnen deze strategie hebben een hoge kostprijs waarvan het redelijk is te denken dat die zal moeten betaald worden na de kernuitstap. Die kostprijs zal hoogstwaarschijnlijk betaald worden met de op dat ogenblik bestaande nucleaire provisies maar het is moeilijk die nu te ramen. Die raming wordt des te meer bemoeilijkt omdat er aan de O&O-inspanningen altijd een zeker risico verbonden is, ook al zijn er voor dat specifieke geval al heel wat scheidingstechnieken bekend. Het lijkt duidelijk dat die strategie duurder is dan de vorige strategieën die we behandelden.

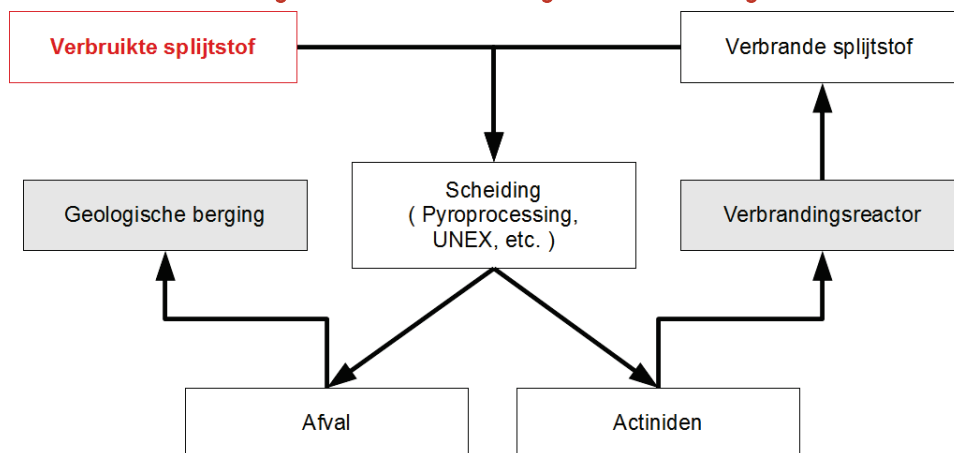
4.6. Strategie E: verbranding

Omschrijving

De ontwikkeling van kernreactoren die in staat zijn lagere actiniden¹³ om te zetten heeft tot doel de tijdsdruk van die materialen op een geologisch bergingssysteem te vermindere. Het verbod dat door de wet op de kernuitstap is afgekondigd om in België nieuwe kernreactoren in gebruik te nemen, dwingt ons ertoe voorrang te geven aan reactoren die radioactieve materialen verbranden. Vandaar de naam die voor deze strategie gekozen is.

De bestraalde splijtstof zou opgeslagen worden in afwachting van de O&O-fase die voorafgaat aan de ingebruikneming van een kernreactor die in staat is om het radioactieve afval om te zetten (transmutatie). De bestraalde splijtstof zou dan op het geschikte moment worden opgewerkt en omgezet in brandstof voor de verbrandingsreactor.

Figuur 4. Schematische weergave van beheerstrategie E: verbranding.



De nucleaire materialen zullen niet in een keer verbrand worden, waardoor de opwerkings- en verbrandingscyclus meermaals herhaald moet worden. Zolang niet alle bestraalde splijtstof verbrand is, ontstaat er bij elke cyclus secundair afval uit de opwerking dat in een geologische bergingsinstallatie ondergebracht moet worden.

Deze strategie kan de hypothese van de geologische berging volgens het referentieconcept van NIRAS niet volledig vervullen. Wij merken echter op dat de keuze van deze strategie al snel de mogelijkheid biedt om de wijziging van de geologische berging dienovereenkomstig te voorzien: een eerste bergingsinstallatie voor afval van categorie B en van afval van categorie C dat voor opslag beschikbaar is, wordt zo snel mogelijk gebouwd

¹³ De lagere actiniden zijn verantwoordelijk voor de lange levensduur van radioactief afval; daarom worden de inspanningen van de O&O in transmutatie toegespitst op de vernietiging ervan.

terwijl een tweede geologische bergingsinstallatie moet worden voorzien om er het afval op te slaan dat afkomstig is van de verbranding en van de opeenvolgende verwerkingsoperaties. Deze strategie biedt het voordeel dat het aldus opgeslagen afval - ook al is het van categorie C - hoofdzakelijk uit splijttingsproducten zal bestaan, met een aanzienlijk kortere halveringstijd dan die van de transuranen.

Tijdslijn

Het tijdsverloop voor de voornaamste stappen van deze strategie bevat nog veel onzekerheden. We kunnen wel al de volgende gebeurtenissen vermelden:

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijtstoffen;
- **Nog onbepaald:** er wordt besloten om de splijtstof op te slaan in afwachting van de latere verbranding;
- **2019:** bouw van een extra opslagplaats in Doel en Tihange;
- **2022:** ingebruikneming van de nieuwe centrale opslagplaatsen in Doel en Tihange;
- **2025:** definitieve kernuitstap;
- **2032:** start van de bouw van de eerste geologische bergingsinstallatie voor het radioactieve afval van categorie B en bepaald radioactief afval van categorie C;
- **2074:** einde van de berging van het radioactieve afval van categorie B en van afval van categorie C dat beschikbaar is in de geologische bergingsinstallatie;
- **2085:** start van de toezichtsfase van de eerste geologische bergingsinstallatie (omkeerbaarheid);
- **Nog onbepaald:** behandeling van de bestraalde splijtstof voor verwerking in de verbrandingsoven;
- **Nog onbepaald:** ingebruikname van een verbrandingsoven voor radioactief afval;
- **Nog onbepaald:** bouw van een tweede geologische bergingsinstallatie voor radioactief afval geproduceerd door de verbrandingsoven en door de opeenvolgende verwerkingsoperaties;
- **Nog onbepaald:** berging van het afval afkomstig uit de transmutatie van splijtstof en uit de opeenvolgende verwerkingsoperaties;
- **Nog onbepaald:** afsluiting van de tweede geologische bergingsinstallatie;
- **Nog onbepaald:** start van de toezichtsfase (omkeerbaarheid) van de tweede geologische bergingsinstallatie .

Analyse

Deze beheerstrategie houdt verband met het MYRRHA-project van het SCK•CEN en met de ontwikkeling van reactoren die in staat zijn om lagere actiniden om te zetten (te “transmuteren”). Terwijl de ontwikkeling van dergelijke reactoren nu werkelijkheid wordt, is het verstandig om een strategie te overwegen die die activiteit omvat, temeer omdat België, als gastland voor het MYRRHA-project, zonder twijfel een belangrijke rol zal spelen in de ontwikkeling van verbrandingsovens.

De ontwikkeling van die reactoren van de nieuwe generatie vereist tegelijk de ontwikkeling van een aangepaste brandstof. Terwijl transmutatie toegepast kan worden op transuranen in het algemeen, zal de gebruikte scheidingstechniek niet het PUREX-procedé zijn. Deze strategie moet dus gekoppeld worden aan de ontwikkeling van een

specifiek scheidingsprocedé. Er zou bijvoorbeeld overwogen kunnen worden om de huidige bestraalde splijtstof een eerste behandeling te geven alvorens ze op te slaan in afwachting van verbranding (pyroprocessing zou die taak kunnen vervullen).

Tot op heden is die strategie niet meer dan een idee. De haalbaarheid van een verbrandingsreactor voor lagere actiniden moet nog aangetoond worden, dat is dan ook een van de doelstellingen van het MYRRHA-project. De scheidingstechniek kan derhalve nog niet worden gekozen, het gaat er immers om de scheiding te optimaliseren om “brandstof” te kunnen produceren voor de verbranding van radioactief afval. Deze strategie blijft evenwel interessant voor het beheer van radioactief afval, aangezien de toepassing ervan het in principe mogelijk maakt om de levensduur van het radioactieve afval met een factor 1.000 te verkorten en in het bijzonder om plutonium en lagere actiniden definitief te vernietigen.

De verbranding moet in verschillende cycli verlopen, waardoor het radiologische risico van deze strategie heel hoog is voor de manipulaties die ermee gepaard gaan. Maar door de actiniden te vernietigen kan de langetermijnradioxiciteit worden beperkt. Het afval dat tussen elke cyclus uit de verbrande splijtstof wordt gehaald, moet op lange termijn beheerd worden; dat aspect komt hier aan bod als de geologische berging. Dat afval moet worden opgeslagen, maar hoogstwaarschijnlijk pas na de geplande bergingscampagne voor afval van categorie C¹⁴ voorzien in het huidige referentiescenario van NIRAS. Bovendien gaat de verbrandingscyclus a priori gepaard met de noodzaak om de “verbrande splijtstoffen” gedurende een zestigtal jaar te laten afkoelen alvorens ze te kunnen onderbrengen in de geologische bergingsinstallatie, zoals dat vandaag het geval is voor het afval uit opwerking. De splijtingsproducten in het afval die verantwoordelijk zijn voor die termijn, maken eveneens wezenlijk deel uit van het toekomstige afval van de opeenvolgende verwerkingsoperaties die in deze strategie worden toegepast.

Er moeten nog heel wat aspecten onderzocht worden alvorens deze strategie toegepast kan worden. De O&O-inspanningen moeten verdeeld worden tussen de geologische berging voor afval van categorie B, de behandeling die de bestraalde splijtstof moet krijgen voor ze in de verbrandingsoven geplaatst kan worden, de ontwikkeling van de verbrandingsoven zelf en tot slot het beheer van het afval dat ontstaat bij de verbranding.

Voor deze strategie kan evenwel nog geen limietdatum worden vastgepijnd. Door die onzekerheid, bovenop de onduidelijkheid omtrent de vereiste O&O-inspanningen, kan men de kostprijs van deze strategie op dit moment nog niet precies ramen, al ligt hij vermoedelijk wel hoger dan voor de andere beheerstrategieën.

Bijwerking 2016: De hier voorgestelde strategie is enkel ontwikkeld vanuit Belgisch standpunt maar sommige Europese projecten hebben belangstelling voor de ontwikkeling van een transmutatie-/verbrandingsstrategie op Europese schaal waarbij uitwisselingen plaatsvinden tussen landen die uit kernenergie stappen en landen die een nucleaire activiteit voor de productie van elektriciteit op hun grondgebied behouden.

¹⁴ Uitzondering op die regel is bepaald afval van categorie C dat niet verwerkt kan worden in de verbrandingsovens, denken we bijvoorbeeld aan de canisters die de opwerkingscontracten uit 1976 en 1978 hebben voortgebracht.

4.7. Strategie F: bijkomend onderzoek

Omschrijving

De bestraalde splijtstoffen worden voor een bepaalde (of onbepaalde) duur opgeslagen, in afwachting van een definitieve beslissing over hun lot. Die periode wordt benut om andere beheerpistes te onderzoeken en de nodige conclusies te verzamelen om uiteindelijk een beter onderbouwde beslissing te kunnen nemen.

Deze strategie kan de hypothese van de geologische berging volgens het referentieconcept van NIRAS niet volledig vervullen. Bij gebrek aan strategische keuze met betrekking tot het afval uit de splijtstofcyclus voorziet de instelling de wijziging van de geologische berging dienovereenkomstig: een eerste bergingsinstallatie voor afval van categorie B en van afval van categorie C dat voor opslag beschikbaar is, wordt zo snel mogelijk gebouwd terwijl een tweede geologische bergingsinstallatie moet worden voorzien om er het afval van categorie C uit de splijtstofcyclus op te slaan wanneer dat gekend is.

Figuur 5. Schematische weergave van beheerstrategie F: bijkomend onderzoek.



We veronderstellen dat een herziening van het nationale plan de aanleiding zou kunnen vormen om het standpunt van België inzake bijkomend onderzoek bij te sturen, als deze strategie tenminste gevolgd wordt.

Tijdlijn

Aan deze strategie zijn heel wat onzekerheden verbonden, wat het moeilijk maakt om de planning in te schatten voor de verschillende operaties om de bestraalde splijtstoffen te beheren, maar de volgende stappen zijn wel al denkbaar:

- **2016:** goedkeuring van het nationale programma van België voor het beheer van radioactief afval en bestraalde splijtstoffen;
- **Nog onbepaald:** er wordt beslist om elke definitieve keuze uit te stellen; die beslissing moet herbekeken worden bij elke tienjaarlijkse herziening van het nationale plan;
- **2019:** bouw van bijkomende opslagplaatsen in Doel en Tihange;
- **2022:** ingebruikneming van de nieuwe centrale opslagruimtes in Doel en Tihange;
- **2025:** definitieve kernuitstap;
- **2032:** start van de bouw van de eerste geologische bergingsinstallatie voor afval van categorie B en C, met uitzondering van de bestraalde splijtstoffen;
- **2075:** uiterste termijn om over te schakelen op de strategie van berging van de geconditioneerde bestraalde splijtstoffen;
- **Nog onbepaald:** indien er voor 2065 geen beslissing wordt genomen bij een herziening van het nationale programma, afsluiting van de eerste geologische berging voor afval van categorie B en C, met uitzondering van de bestraalde splijtstoffen; de bestraalde splijtstoffen worden opgeslagen tot er een beslissing wordt genomen;

- **Nog onbepaald:** de genomen beslissing wordt toegepast, het tijdschema moet in functie daarvan worden vervolledigd;
- **Nog onbepaald:** bouw van een tweede geologische bergingsinstallatie voor het radioactieve afval uit de splijtstofcyclus;
- **Nog onbepaald:** berging van het radioactieve afval uit de splijtstofcyclus
- **Nog onbepaald:** sluiting van de tweede geologische bergingsinstallatie.

Analyse

Deze strategie gaat uit van de beslissing dat er meer informatie nodig is alvorens er een definitieve beslissing kan worden genomen over het langetermijnbeheer van de splijtstoffen; de beslissing wordt uitgesteld en men trekt volop de kaart van O&O om de informatie te verzamelen die als onontbeerlijk wordt geacht om een beheerstrategie te kiezen. We gaan ervan uit dat de herziening van het nationale programma (dat volgens de afvalrichtlijn minstens om de tien jaar herzien moet worden) gebruikt zal worden om die beslissing te herevalueren en een keuze te maken. In feite bevindt België zich sinds de parlementaire resolutie van 1993 in deze strategie, weliswaar zonder ze als zodanig te benoemen. In 1993 werd immers beslist om twee opties op voet van gelijkheid te bestuderen en om de keuze voor een van beide opties uit te stellen naar het moment waarop men zich een volledig beeld van de splijtstofcyclus kon vormen. Daar moeten we twee zaken aan toevoegen:

- ten eerste dat het ontbreken van een duidelijk afgelijnde limiet voor die onderzoeksperiode contraproductief kan werken en het risico inhoudt dat de beslissing voor onbepaalde tijd wordt uitgesteld en
- ten tweede dat sinds de definitieve kernuitstap beslist is, het status quo beetje bij beetje neerkomt op een *de facto* beslissing om de bestraalde splijtstof niet op te werken.

Zoals al aangegeven in de beschrijving bij strategie C wordt opwerking steeds minder overwogen door Synatom, aangezien de mogelijke tijdsspanne om de opgewerkte materialen nog te gebruiken in de Belgische reactoren steeds korter wordt. De strategie van “bijkomend onderzoek” beperkt zich niet tot de keuze tussen de twee opties uit 1993, ook andere alternatieven kunnen zo overwogen worden.

Deze strategie volgen wil niet zeggen dat de geologische berging van het andere radioactief afval, hoofdzakelijk dat van categorie B, niet meer overwogen moet worden: de verbruikte splijtstof is goed voor ongeveer 23 % van het totale volume B&C-afval dat in een gemeenschappelijke geologische berging ondergebracht zou moeten worden volgens het referentiescenario van NIRAS. Zelfs al zou men beslissen om het beheer van de verbruikte splijtstoffen uit te stellen, dan nog zou NIRAS moeten instaan voor het beheer van de rest van het radioactieve afval van categorie B en C (dat grotendeels bestaat uit technische passiva ten laste van de Staat). Deze strategie houdt met andere woorden het risico in dat het radioactieve afval van categorie B en C en de bestraalde splijtstoffen gescheiden beheerd moeten worden. En hoe langer de beslissing wordt uitgesteld, hoe groter dat risico wordt.

Na een bepaalde termijn is gemeenschappelijke bergingsinstallatie niet meer mogelijk. Om die termijn te kunnen inschatten, moeten we rekening houden met de volgende elementen:

- een deel van het afval voor de derde bergingscampagne is geen bestraalde splijtstof en zou hoe dan ook zo snel mogelijk moeten geborgen worden;
- de sluiting van het eerste deel van de geologische bergingsinstallatie, dat het afval van de eerste twee bergingscampagnes bevat, is voorzien voor 2074;
- de graafwerken voor het gedeelte van de bergingsinstallatie dat bestemd is voor het afval uit de splijtstofcyclus, zouden aanvatten in 2092; alvorens dat deel van de bergingsinstallatie aangelegd kan worden, moet er wel een bouwvergunning worden toegekend;
- de beslissing om het afval te bergen;
- de herziening van de beslissing om bijkomend onderzoek te doen moet periodiek bepaald worden om te vermijden dat er nooit een beslissing wordt genomen; de herzieningen van het nationale programma kunnen een goed middel zijn;
- Deze strategie moet gekoppeld worden aan een andere strategie;
- *Bijwerking 2017*: zolang er geen definitieve beslissing genomen is, strookt deze strategie de facto met een opslag op zeer lange termijn;
- *Bijwerking 2017*: het uitstellen van een beslissing is een schadelijke factor voor het behoud van kennis. Het risico op verlies van expertise dat met deze strategie gepaard gaat is paradoxaal genoeg niet gering, vooral wanneer de onderzoeksdoeleinden niet duidelijk worden omschreven.

Van de andere strategieën die in deze studie aan bod komen is de strategie die de langste beslissingstermijn biedt en daarnaast voorziet in gemeenschappelijke berging die van niet-opwerking, waarvoor de termijn naar schatting tot 2075 loopt. Als er na die datum geen beslissing wordt genomen, dan dreigen de gekozen referentieplanning en de gemeenschappelijke berging van B&C-afval in het gedrang te komen.

Voor deze strategie is de financiële onzekerheid over de kostprijs voor het beheer van bestraalde splijtstof onvermijdelijk het grootst, aangezien we dat beheer voor ons zouden uitschuiven zonder klaarheid over de gekozen oplossing en over de kostprijs ervan waardoor de provisioneringsoefening des te deliquer wordt.

4.8. Transversale analyse van de chronologie van de beheerstrategieën voor bestraalde splijtstoffen

Het is interessant om vast te stellen dat onze hypothese omtrent de vermoedelijke planning voor de aanleg van een geologische bergingsinstallatie, op basis van het Afvalplan van NIRAS, het mogelijk maakt om voor elke strategie een eigen chronologie te bepalen. De planning is in zekere zin de sluitsteen van die chronologieën, aangezien ze ons in staat stelt om voor bepaalde strategieën een bufferdatum te bepalen waarna het uitblijven van een beslissing de strategie uitgewerkt op basis van onze hypothesen (gemeenschappelijke berging voor afval van categorie B en C) op het spel zet. Op die manier kwamen we tot de volgende limietdatums:

- **2018-2025** voor de strategie van gedeeltelijke opwerking. De splijtstofelementen die niet werden uitgekozen voor opwerking moeten dan beheerd worden volgens een van de andere strategieën. In onze hypothesen is het nodig dat de beslissing voldoende snel wordt genomen zodat het afval uit de opwerking 60 jaar kan afkoelen alvorens het geborgen wordt (het moet terugkeren tegen 2030-2040). Hoe later de beslissing valt hoe groter dat probleem wordt.
- **2065** voor de strategie van doorgedreven scheiding, een termijn waarna de technische informatie om de scheidings-/conditioneringsmethode en het bergingsconcept - zonder het uit te stellen - vast te leggen, dreigt te ontbreken.
- **2075** voor de strategie van niet-opwerking. Het gaat om de uiterste termijn om de berging van bestraalde splijtstof definitief te kiezen als strategie voor langetermijnbeheer, die de tijd laat om de omvang van de kunstmatige barrières van de geologische bergingsinstallatie te bepalen zonder de bouw tegen 2092 in het gedrang te brengen.

Voor de andere strategieën is de limietdatum reeds virtueel verstreken of laten de onderzoeksinspanningen die nodig zijn om de strategie te realiseren het niet toe om een uiterste datum vast te leggen:

- Technisch gesproken is de **volledige opwerking** steeds mogelijk aangezien de tijdsbeperking dezelfde is als voor de gedeeltelijke opwerking, met name de tijdige terugkeer van het afval uit opwerking zodat de berging ervan niet vertraagd wordt wegens de nodige afkoelingsperiode. We stellen echter vast dat de beslissingen om de opwerkingsactiviteit op te schorten en de kerncentrales te sluiten Synatom en Electrabel in een positie hebben geplaatst waarbij volledige opwerking, met gebruik van de opgewerkte splijtstof in de Belgische reactoren, in werkelijkheid niet meer tot de mogelijkheden behoort. Volledige opwerking zonder gebruik van de opgewerkte splijtstof is al helemaal geen optie meer, aangezien dat zou neerkomen op een investering zonder return.
- Strikt genomen is er geen tijdslimiet voor de **strategie van bijkomend onderzoek**, maar het is ook de strategie waar we ons in bevinden zolang er niet beslist wordt om in een van de andere scenario's te stappen. Bijgevolg is 2075 als uiterste datum om voor niet-opwerking te kiezen, tevens de langste beslissingstermijn van alle strategieën, in zekere zin ook de limiet voor de strategie van bijkomend onderzoek in het kader van onze hypothesen, zeker wat betreft de hypothese van een gemeenschappelijke bergingsinstallatie voor afval van categorie B&C. Voorbij die termijn komt, volgens onze hypothesen, het gebruik van een gemeen-

schappelijke bergingssite in het gedrang. Deze strategie kan gelijkgesteld worden met lange-termijnopslag.

- Voor de **verbrandingsstrategie** hebben we geen limietdatum bepaald, aangezien gemeenschappelijke geologische berging waarschijnlijk toch niet zal toegepast worden indien deze strategie gekozen wordt.

Figuur 6, verderop, toont hoe die strategieën onderling georganiseerd zijn en welke beslissingen er in welke volgorde genomen moeten worden om het beheer van bestraalde splijtstof mogelijk te maken in elke strategie. De figuur is opgesplitst in twee delen. Links staat een tijdlijn die van boven naar beneden loopt. Ze begint in 1975 en gaat tot 2200, en toont de belangrijke voorbije en toekomstige stappen in het besluitvormingsproces om de splijtstofcyclus in België te organiseren. Het rechtse gedeelte geeft schematisch de verschillende strategieën weer en de beslissingsboom die kan leiden tot het beheer van de bestraalde splijtstof.

Door die beslissingsboom van boven naar beneden te volgen, merken we dat België zich aanvankelijk in een strategie van volledige opwerking bevond. De eerste opwerkingscontracten die tijdens die periode gesloten werden en betrekking hadden op 670 t bestraalde splijtstof, hebben een hoeveelheid afval voortgebracht die geologisch geborgen moet worden.

In 1993 kwam de ommekeer met de parlementaire debatten en de daaropvolgende resolutie: sindsdien moet België twee opties op gelijke voet in overweging nemen, meer bepaald opwerking en niet-opwerking. Zoals reeds toegelicht in de analyse over de strategie van bijkomend onderzoek, bevindt België zich in die strategie zolang er niet voor een van de twee opties gekozen wordt. We hebben die situatie geïllustreerd door de drie strategieën zij aan zij te plaatsen, met de strategie van bijkomend onderzoek centraal. De beslissingslijn blijft in het bijkomend onderzoek tot er een beslissing wordt genomen om over te schakelen op een van de twee strategieën.

In 2003 werd de wet op de kernuitstap gestemd. Zoals we reeds hebben aangegeven, is die wet een van de factoren die ertoe hebben geleid dat Synatom een opwerkingsstrategie steeds minder overweegt, aangezien de splijtstoffen die geproduceerd worden bij de opwerking na 2025 niet meer gebruikt kunnen worden. Op dit moment voorziet het referentieprogramma van Synatom de gedeeltelijke opwerking van de bestraalde splijtstoffen. De beslissing om die gedeeltelijke opwerking toe te staan moet evenwel snel worden genomen. Dat hebben we geïllustreerd door de strategie van gedeeltelijke opwerking lineair te verkorten tot haar verdwijning in 2025. Indien deze strategie wordt gekozen, dan is de afvalinventaris vanaf 2025 volledig en kan vanaf die datum de berging gepland worden (geïllustreerd aan de hand van de lijn die de strategie verbindt met de geologische berging).

De strategie van niet-opwerking wordt grafisch weergegeven vanaf 1993 en blijft aanneemelijk tot aan haar limietdatum, die geschat is op 2075. De datum waarop de strategie zoals ze wordt beschreven in die studie niet meer bestaat.

Links van de opwerkingsstrategie wordt de geologische berging weergegeven, die start in 2032, met de bouw van de bergingsinstallatie, en duurt tot aan de afsluiting, vermoedelijk in 2121. Dat zijn de datums die NIRAS ook gebruikt in haar referentiescenario.

Vanaf 2015 komt ook de strategie van doorgedreven scheiding in beeld. De ovale vorm van deze strategie symboliseert het feit dat bijkomend onderzoek er in de toekomst toe

zou kunnen leiden dat deze strategie ontwikkeld kan worden tot ze bruikbaar is, wat tot op heden niet het geval was. Het jaar 2065 werd afgeleid als de uiterste termijn voor geologische berging volgens onze hypothesen, te zien aan de lijn die de geologische berging in dat jaar vervoegt.

Ook de verbrandingsstrategie wordt weergegeven; ook zij krijgt een ovale vorm om aan te geven dat er extra onderzoek nodig is alvorens er een unit gebouwd kan worden voor transmutatie op industriële schaal. Ze overlapt ook met de strategie van doorgedreven scheiding, aangezien er speciale splijtstof geproduceerd zal moeten worden voor de verbrandingsoven en omdat we denken dat dat zal gebeuren via een opwerkingsstrategie waarbij een andere scheidingsmethode dan het PUREX-procedé gebruikt zal worden.

Zolang er niet wordt beslist welke van de voorgestelde beheerstrategieën er gevolgd wordt, blijven we in de strategie van bijkomend onderzoek. Merk trouwens op dat we grafisch illustreren dat indien na 2075 de beslissing niet is genomen om bestraalde splijtstof onbehandeld in een geologische bergingsinstallatie onder te brengen, we in het scenario van bijkomend onderzoek blijven. Een hypothese waar we niet van uitgaan.

Alle datums en beslissingen met betrekking tot de geformuleerde hypothesen, in het bijzonder voor de geologische bergingsinstallatie gebouwd volgens het NIRAS-referentieconcept, worden op de figuur in het groen weergegeven.

Figuur 6 toont ook dat zolang er geen beslissing genomen is, we de facto in de strategie blijven die we “bijkomend onderzoek” hebben genoemd en dat de beslissing om al dan niet voor gedeeltelijke opwerking te kiezen snel genomen moet worden. Na die keuze is de volgende termijn om een strategie te kiezen 2065, meer bepaald doorgedreven scheiding.

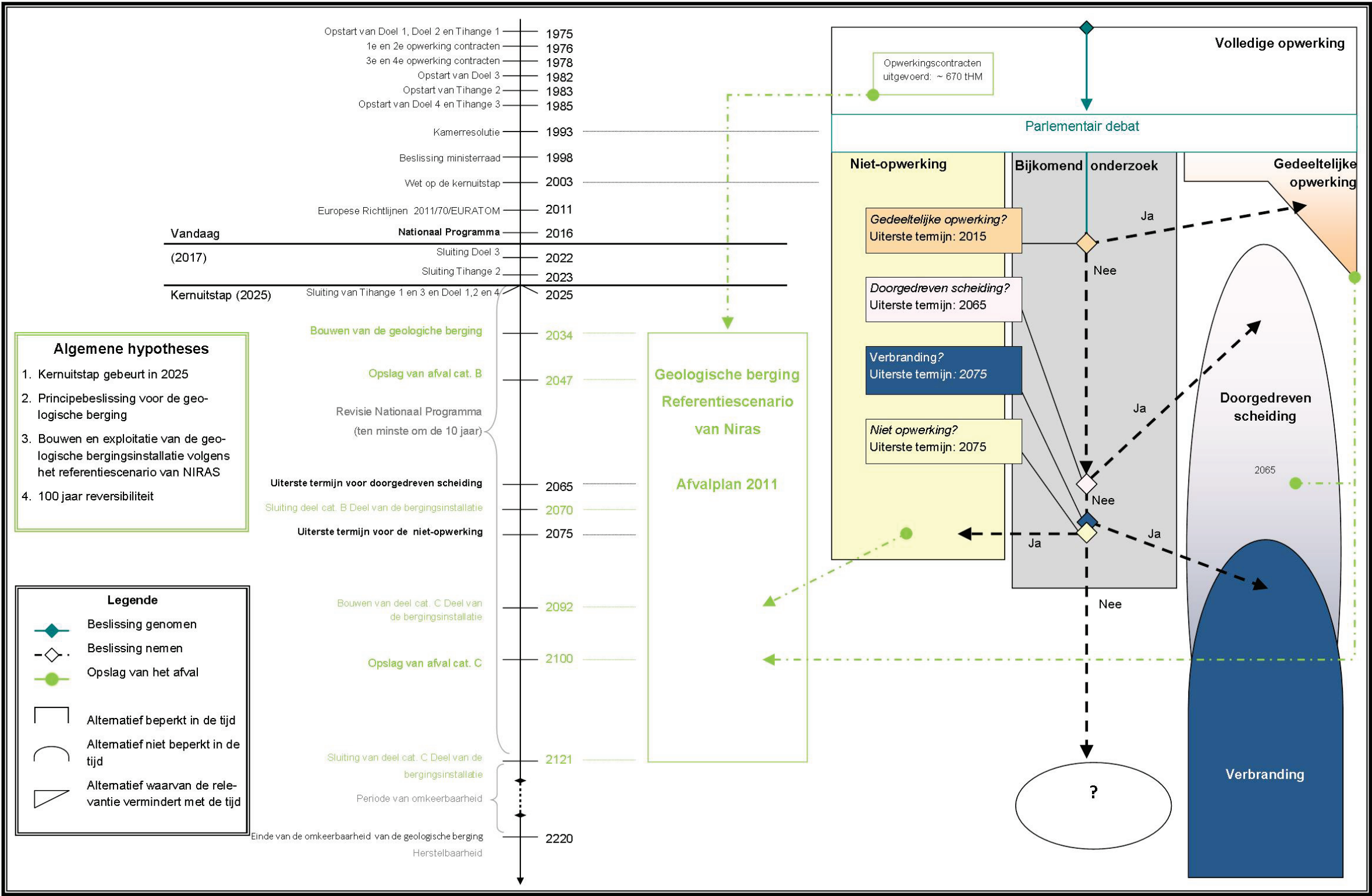
38

Tot slot zien we een geordende reeks beslissingen verschijnen die voor een bepaalde datum genomen moeten worden om gemeenschappelijke geologische berging volgens het referentiescenario van NIRAS nog mogelijk te maken.

We benadrukken dat het niet is omdat er een limietdatum is vastgelegd, dat we dan ook tot die datum moeten wachten om voor een bepaalde strategie te kiezen. Hoe vroeger er immers een beslissing wordt genomen, hoe sneller NIRAS alle kaarten in handen heeft om haar opdracht optimaal te vervullen. We wijzen er ook nog eens op dat het systeem dat België heeft ingesteld om de provisies aan te leggen om de gekozen strategie te financieren, voorziet dat de bevoorrading tegen 2025 voltooid is.

Bijwerking 2017: Na die datum moet Synatom zich tot zijn producenten wenden zodat zij de ontbrekende sommen desgevallend bijpassen. Nergens wordt bepaald dat die producenten in de toekomst zouden verdwijnen maar indien dat toch gebeurt, zou de Belgische Staat de financiële verantwoordelijkheid moeten overnemen die gepaard gaat met het beheer van het afval uit de splijtstofcyclus.

Figuur 6. Tijdlijn met de belangrijke stappen voor de Belgische splijtstofcyclus (links) en diagramweergave van de mogelijke strategieën voor België.
Met de doorslaggevende stappen in het beslissingsproces ten opzichte van de tijdslijn (rechts). De beslissingsstappen zijn gebaseerd op onze hypothesen en in het bijzonder op de planning voor de bouw van een geologische bergingsinstallatie volgens de referentiestrategie beschreven in het Afvalplan van NIRAS (geïllustreerd aan de hand van de groene kleur op de figuur).



5. Samenvatting

Deze studie, die werd uitgevoerd door de Dienst Nucleaire Toepassingen van de Algemene Directie Energie van de FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, is een bijwerking gerealiseerd in 2017 van de studie die in 2014 heeft plaatsgevonden.

Het Belgische nationale programma voor het beheer van het radioactieve afval en bestraalde splijtstoffen werd goedgekeurd door de Ministerraad van 30 juni 2016. Het nationale programma beperkt zich tot een beschrijving - zonder nieuwe normatieve inhoud - van de toestand zoals die bestond op 31 december 2014 inzake het nationale beleid voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval, van de toepassing van dat beleid en van het nationale kader voor de toepassing ervan. Sinds het debat van 1993 overweegt België twee alternatieven op gelijke voet: niet-opwerking of opwerking. Op 31 december 2016 was nog geen enkele beslissing genomen met betrekking tot de goedkeuring van een nationaal beleid voor het beheer van afval van categorie B en C of met betrekking tot de alternatieven die overwogen worden voor de bestraalde splijtstof.

De nieuwe ontwikkelingen van de voorbije decennia op het vlak van beheer van bestraalde splijtstoffen verdienen het evenwel om op zijn minst overwogen te worden. Tal van andere landen onderzoeken op dit moment volop welke strategie ze in de toekomst kunnen hanteren om hun splijtstof te beheren. Welnu, aangezien het kernreactorpark en de wetgeving verschillen van land tot land, kunnen de resultaten van die studies niet zomaar worden toegepast op andere landen.

40

Ter voorbereiding hebben we een voorafgaande studie gedaan om te bepalen welke strategieën België zou kunnen overwegen zonder zich te beperken tot de twee alternatieven die twintig jaar geleden werden gekozen. In het licht daarvan hebben we een aantal hypothesen geformuleerd. Een aantal werd geselecteerd, die in het eerste deel van deze studie worden uiteengezet. Het zijn dezelfde als die welke geselecteerd waren voor onze studie van 2014. Verschillende van die hypothesen beperken zich tot het overnemen van de conclusies die NIRAS in haar Afvalplan trekt en die als basis dienen voor deze studie (geologische berging als definitieve beheerstrategie, het referentieconcept voor geologische bergingsinstallatie, rekening houdend met de vereiste aanpassingen aan dat concept voor elke strategie enz.). Twee hypothesen zijn rechtstreeks ingegeven door de wet (kernuitstap en omkeerbaarheid¹⁵), de twee laatste hypothesen zijn werkhypothesen die het toelaten om de analyse toe te spitsen op de strategieën voor het beheer van splijtstoffen (verzekerde opslag en de productie van radioactief afval uit bestraalde splijtstof). Onze hypothesen werden kritisch geanalyseerd, net als hun gevolgen op het vlak van beperking van de denkbare strategieën.

We hebben ook de leesleutels behouden die in de studie van 2014 waren voorgesteld en die het mogelijk maken om de strategieën te overwegen en te begrijpen vanuit andere invalshoeken. Omdat het beheer van bestraalde splijtstof een multidimensionaal probleem is, bestaat er geen allesomvattende, pasklare oplossing voor. Maar elke oplossing kan een bepaald aspect blootleggen. Er werden 4 leesleutels bepaald en voorgesteld: het radiologische risico, de non-proliferatie, de problematiek van materiaal met energie-

¹⁵ De verplichting om modaliteiten voor omkeerbaarheid op te nemen in de wet van 3 juni 2014, in overeenstemming met de Europese richtlijn EURATOM/2011/70. Onze hypothese gaat evenwel verder door te veronderstellen dat omkeerbaarheid niet toegepast hoeft te worden.

“De voorwaarden scheppen voor een competitieve, duurzame en evenwichtige werking van de goederen- en dienstenmarkt in België.”

potentieel en de economische aspecten. Die leessleutels werden bepaald door onze algemene hypothesen. Er zouden nog andere sleutels aan toegevoegd kunnen worden.

Tot slot werden er naast de twee essentiële strategieën ook nog vier bijkomende strategieën beschreven: gedeeltelijke opwerking, die op heden het referentieprogramma van Synatom vormt voor het beheer van bestraalde splijtstoffen, doorgedreven scheiding en verbranding, twee strategieën waarvoor de huidige onderzoeksinspanningen benut moeten worden om het beheer van bestraalde splijtstof te optimaliseren, en de strategie van bijkomend onderzoek, waarbij men ervan uitgaat dat we op dit moment nog over onvoldoende elementen beschikken om een definitieve beslissing te nemen.

De verschillende strategieën werden uiteengezet aan het begin van dit deel. Voor elke strategie beschrijven we aan de hand van een beknopte analyse de gevolgen die de keuze voor een bepaalde strategie met zich mee zou brengen. Voor elke strategie wordt ook een tijdlijn voorgesteld met de verschillende stappen die leiden tot het beheer van de bestraalde splijtstoffen binnen die strategie, in navolging van onze hypothesen. Om die tijdlijnen op te stellen, hebben we ons gebaseerd op de voorziene planning uit het referentiescenario van NIRAS voor het beheer van radioactief afval en van bestraalde splijtstoffen. In die planning is in het bijzonder voorzien dat de bouw van de geologische bergingsinstallatie in twee fases gebeurt: het eerste deel zou vrij snel gebouwd worden en grotendeels het afval van categorie B bevatten, dat in twee bergingscampagnes wordt overgebracht, het tweede deel van de bergingsinstallatie zou vanaf 2092 gebouwd worden en, na een derde bergingscampagne, het afval bevatten dat afkomstig is uit de splijtstofcyclus. We gaan ervan uit dat de vergunningsaanvraag voor de bouw van het tweede deel van de bergingsinstallatie pas ingediend zal worden op het moment dat de galerij gegraven moet worden. Aangezien de start van de werken immers voor 2092 is voorzien, en gelet op het feit dat NIRAS technologische waakzaamheid plant gedurende alle operaties voor het beheer van radioactief afval en van bestraalde splijtstoffen, zou de vergunning die eventueel wordt aangevraagd voor de start van de eerste werken in 2032, 60 jaar later toch opnieuw moeten worden aangevraagd bij de regulator. Een kwestie die NIRAS ook aanstipt in haar evaluatierapport uit 2013 over de kostprijs voor de geologische bergingsinstallatie [8].

Door 2092 evenwel te behouden als uiterste termijn om te vermijden dat het afval van categorie B en C apart geborgen moet worden, zijn we erin geslaagd om voor elke strategie vast te leggen voor welke datum er uiterlijk beslist moet worden om al dan niet in die strategie te stappen. Na die limietdatums zou het uitblijven van een beslissing het voor NIRAS materieel onmogelijk kunnen maken om haar opdracht volgens het scenario te vervullen. Er gebeurde een transversale analyse van de chronologie van de verschillende strategieën, om te kunnen bepalen hoe ze onderling op elkaar aansluiten. Uit die analyse is gebleken dat er heel snel een beslissing moet komen over de strategie van (gedeeltelijke of volledige) opwerking en dat, indien die strategie niet gevolgd wordt, de nodige onderzoekspistes bepaald moeten worden om onderbouwd te kunnen beslissen in een andere beheerstrategie te stappen, ten laatste tegen 2065 voor de scheidingsstrategie en ten laatste tegen 2075 voor de strategie van niet-opwerking.

Bibliografie

- [1] FOD Economie, het Nationaal programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval, 2015,
<https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energiebronnen/kernenergie/beheer-van-verbruikte/eerste-nationaal-programma> [geraadpleegd in 2017].
- [2] 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 splijtstoffen,
http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=1981033001&table_name=wet, [geraadpleegd in 2017].
- [3] NIRAS, Afvalplan, 2011 [online].
beschikbaar op: <http://www.niras-afvalplan.be/nieuw/htm/getpage.php?i=1> [geraadpleegd in 2017].
- [4] FANC, Avis de l'AFCN sur les documents de l'ONDRAF : Projet de Plan Déchets et Evaluation des Incidences sur l'Environnement, nota 010-149-F van 02.02.2011.
- [5] NIRAS, Optimization of the repository design for geological disposal (part 1), 2016, NIROND-TR 2016-03.
- [6] Vanrespaille L. en Teller M., Publieksforum Hoe beslissen over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en langlevend afval?, Eindrapport, Stichting Koning Boudewijn, 2010.
<http://www.ondraf-plandechets.be/nieuw/downloads/pdf/1967-FRB-POD-Niras.pdf>
- [7] NIRAS, Safety Assessment and Feasability Interim Report 2, Brussel, 2001.
- [8] ONDRAF, Cost Evaluation of Geological Disposal of Category B&C Waste for the Long Term Fund (Revision of 2013), NIROND-TR 2013-04 E, Brussel, 2013.
- [9] ONDRAF, Summary of cost evaluation of direct and mixed SNF geological disposal scenarios, note 2015-2867, 2015.
- [10] Synatom, Jaarverslag 2016,
http://synatom.be/uploads/files/rapports/Synatom_2016_NL_web.pdf, 2016, [geraadpleegd in 2017].
- [11] Commissariat à l'énergie atomique - Direction de l'énergie nucléaire, Le traitement-recyclage du combustible nucléaire utilisé, Parijs, Jean-François Parisot, 2008.