



**Hoge
Gezondheidsraad**

NUCLEAIR RISICO, DUURZAME ONTWIKKELING EN ENERGIETRANSITIE

**OKTOBER 2021
HGR NR. 9576**



.be

COPYRIGHT

Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu

Hoge Gezondheidsraad

Victor Hortaplein 40 bus 10
B-1060 Brussel

Tel: 02/524 97 97

E-mail: info.hgr-css@health.belgium.be

Auteursrechten voorbehouden.

U kunt als volgt verwijzen naar deze publicatie:

Hoge Gezondheidsraad. Nucleair risico, duurzame ontwikkeling en energietransitie. Brussel: HGR; 2021. Advies nr. 9576.

De integrale versie van dit advies kan gedownload worden van de website: www.hgr-css.be

Deze publicatie mag niet worden verkocht.



ADVIES VAN DE HOGE GEZONDHEIDSRAAD nr. 9576

Nucleair risico, duurzame ontwikkeling en energietransitie

In this scientific advisory report, which offers guidance to public health policy-makers, the Superior Health Council of Belgium provides advice and recommendations on nuclear risks, sustainable development and energy transition.

Versie gevalideerd door het College van
6 oktober 2021¹

HIGHLIGHTS

De klimaatopwarming door broeikasgassen is zonder twijfel een van de belangrijkste problemen en risico's die op wereldvlak dringend moeten worden aangepakt. Tegen deze achtergrond wordt kernenergie regelmatig voorgesteld als een ideaal en onproblematisch alternatief voor fossiele brandstoffen bij de opwekking van elektriciteit, als onderdeel van een energiemix, omdat kerncentrales tijdens de werking bijna geen CO₂ uitstoten, wat een onbetwistbaar voordeel is. De realiteit is echter complexer. Kernenergie kent haar eigen risico's en werpt ernstige vragen op, waaronder de kwestie van het zeer langlevend radioactief afval (meerdere tienduizenden jaren), het risico van ernstige ongevallen met gevolgen tot op lange afstand en op lange termijn die meerdere generaties kunnen treffen, het risico van terrorisme, de banden met kernenergie voor militaire doeleinden en de proliferatie van splijtstoffen voor militair gebruik.

Momenteel wordt erkend dat het risico van een ernstig nucleair ongeval niet kan worden uitgesloten, zelfs niet in de beste kerncentrales, en België is in dit opzicht bijzonder kwetsbaar wegens de kenmerken van de betrokken locaties: dicht bij grote steden en internationale verkeersaders, verzadigd wegennet en hoge bevolkingsdichtheden. De HGR is van mening dat, gezien de bijzondere kwetsbaarheid van de Belgische sites, de voortzetting van dit risico gedurende nog eens 10 of 20 jaar milieu-, gezondheids- en ethische vragen oproept.

Een belangrijk en onontkoombaar zwak punt van kernenergie is de bestemming van verbruikte splijtstof en radioactief afval en de mogelijke gevolgen daarvan voor de gezondheid van de toekomstige generaties. Volgens de huidige stand van de kennis is er voor dit soort afval geen alternatief dan diepe geologische berging. Diepe geologische berging brengt voor toekomstige generaties de noodzaak met zich van bewaking en instandhouding van kennis en herinnering, een last die zij waarschijnlijk gedurende een lange periode, mogelijk duizenden jaren, zullen

¹De Raad behoudt zich het recht voor om in dit document op elk moment kleine typografische verbeteringen aan te brengen. Verbeteringen die de betekenis wijzigen, worden echter automatisch in een erratum opgenomen. In dergelijk geval wordt een nieuwe versie van het advies uitgebracht.

dragen. Deze oplossing moet bijgevolg uit ethisch oogpunt als moeilijk aanvaardbaar worden beschouwd. Echter, in de huidige situatie leiden de andere voorgestelde oplossingen tot een nog zwaardere belasting voor de toekomstige generaties. Daardoor is de huidige generatie gedwongen deze problematische oplossing als de ethisch best te rechtvaardigen oplossing aan te nemen. De HGR beveelt echter aan dat België de mogelijkheden tot samenwerking met buurlanden onderzoekt voor de geologische berging van verbruikte splijtstof. De HGR adviseert om een nationaal beleid inzake verbruikte splijtstof op te stellen waarin duidelijk wordt bepaald hoe (opwerking of diepe geologische berging) en wanneer deze zal worden behandeld; om het nationale beleid inzake middelactief en hoogactief langlevend afval (B- en C-afval) vast te leggen door te beslissen om dit afval in een diepe geologische berging te plaatsen, met bijzondere aandacht voor veiligheid en nauwkeurige kennis van de fysisch-chemische kenmerken van het afval; om het wetgevend kader voor provisies te verbeteren, kwestie van ervoor te zorgen dat deze toereikend zijn en op het juiste moment voor België beschikbaar; en ten slotte om een maatschappelijk bestuur in te stellen dat garant staat voor degelijke en transparante besluitvormingsprocessen. De HGR vestigt bovendien de aandacht op het feit dat het van essentieel belang is om een statuut te geven aan de verbruikte splijtstof. Zonder een dergelijk statuut kan deze niet worden beheerd en wordt de financiële last overgedragen aan de toekomstige generaties. Ook moet worden voorkomen dat er een beleid wordt gevoerd van onbeperkte opslag op de sites van de centrales, wat op de lange termijn niet als veilig kan worden beschouwd.

De HGR onderstreept dat de technologieën die bekend staan als Gen IV (Generation IV reactors) en die berusten op permanente recycling van de verbruikte splijtstof om het plutonium en het uranium opnieuw te gebruiken, met of zonder transmutatie van langlevende radionucliden (lagere actiniden, maar geen splijtingsproducten), geen oplossing zijn voor het huidige radioactieve afval en nieuwe soorten afval en verbruikte splijtstof voortbrengen waarvoor momenteel op industrieel niveau geen opwerkingsprocedures bestaan. In dit verband adviseert de HGR om na te denken over de langetermijndoelstellingen van het onderzoek dat wordt uitgevoerd bij het SCK CEN (Studiecentrum voor kernenergie), met name betreffende het Myrrha-project).

De HGR is zich er ook van bewust dat er in de wereld een versnelde ontwikkeling van nieuwe technologieën gaande is, met als doel kleinere en veiligere reactoren te ontwikkelen met minder afval en minder proliferatierisico. De meeste daarvan zijn nog in de ontwikkelingsfase en er zijn nog grondige evaluaties nodig, o.a. inzake veiligheid. Ook al zouden deze ontwikkelingen toekomstperspectieven kunnen creëren, bieden deze reactoren hoe dan ook geen oplossing voor de huidige keuzes die België tegen 2035 moet maken. Bovendien werpt hun gebruik voor militaire doeleinden een schaduw op hun verenigbaarheid met de beginselen van duurzame ontwikkeling.

Betreffende de risico's verbonden aan terrorisme adviseert en steunt de HGR het ontwikkelen van een alomvattend noodplan voor dergelijke situaties. De HGR wijst op de noodzaak om voldoende voorraden farmaceutische producten aan te leggen en aan te houden om de gevolgen van interne stralingsbesmetting te beperken en ervoor te zorgen dat deze snel beschikbaar zijn voor de hulpdiensten, ziekenhuisdiensten en de betrokken bevolking. De HGR vestigt bovendien de aandacht op de specifieke kenmerken van door terrorisme veroorzaakte radiologische ongevallen en op de noodzaak om de interventiediensten naar behoren op te leiden en uit te rusten. De HGR wijst er voorts op dat sommige terroristische daden er minder op gericht zijn om mensen te doden dan om paniek en verwarring in de samenleving te veroorzaken. De nodige communicatiemiddelen moeten dus worden voorbereid en ingezet om te trachten een dergelijke paniek te voorkomen.

De HGR oordeelt bovendien dat de medische responscapaciteit in het geval van een nucleaire explosie van een kernwapen (per ongeluk of in geval van een terroristische aanslag of oorlog), volledig zou worden overschreden. Volgens de HGR is de uitbanning van alle kernwapens de enige manier om een ramp te voorkomen. Deze doelstelling is vastgelegd in het Verdrag inzake de non-proliferatie van kernwapens, dat België heeft geratificeerd, en recentelijk nog duidelijker en dringender in het Verdrag tot verbod op kernwapens (2017), dat door 122 landen werd onderhandeld en goedgekeurd. Zoals de *World Federation of Public Health Associations*, de *World Medical Association* en het *Internationaal Comité van het Rode Kruis* (ICRC) al eerder hebben gedaan, beveelt de HGR aan dat België serieus overweegt ook het Verdrag tot verbod op kernwapens te ondertekenen.

Er doen misleidende verklaringen de ronde waarin er, in naam van de wetenschap, wordt beweerd dat er geen effecten kunnen worden "toegeschreven" aan ioniserende straling beneden een dosis van 100 mSv (d.w.z. voor de meeste bevolkingsgroepen die zijn blootgesteld aan ioniserende straling na een nucleair ongeval of als gevolg van fall-out van atmosferische kernbomproeven). De HGR benadrukt dat dergelijke beweringen niet stroken met de huidige biologische en epidemiologische gegevens (die het wetenschappelijke karakter van de voorzichtige aanpak van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming bevestigen, nl. een lineaire relatie zonder drempel tussen blootstelling aan ioniserende straling en het risico van kanker en erfelijke effecten) en leiden tot een minimalisering van de risico's waarmee bij de beleidsvorming rekening moet worden gehouden.

De HGR vestigt bovendien de aandacht op het feit dat de laatste jaren nieuwe gegevens over de effecten van blootstelling aan ioniserende straling zijn verschenen, die nopen tot een herevaluatie van de risico's van ioniserende straling bij lage en middelhoge doses. Het gaat om niet-kanker effecten, zoals hart- en bloedvataandoeningen, effecten op de hersenen en cataract, via mechanismen van een nieuw type dat tot nu toe niet in aanmerking is genomen (epigenetische, mitochondriale en ontstekingseffecten alsook vroegtijdige veroudering). Gezien de vele aanhoudende onzekerheden en de gevolgen van deze nieuwe gegevens voor de gezondheid, vooral bij kinderen en ongeboren baby's, adviseert de HGR dat het beleid ter bescherming van de bevolking tegen de gevaren van ioniserende straling door een voorzorgsbenadering wordt gestuurd. De HGR beveelt met name aan dat in de nucleaire noodplannen maatregelen worden opgenomen die specifiek gericht zijn op de bescherming van kinderen en zwangere vrouwen en dat deze maatregelen, zodra de situatie het toelaat, in alle fasen van een nucleair ongeval worden uitgevoerd. Gezien de mogelijke implicaties van deze nieuwe gegevens, adviseert de HGR ook om de nodige steun te verlenen aan verder wetenschappelijk onderzoek naar deze effecten en mechanismen.

De HGR stelt vast dat er, ondanks de vooruitgang die de laatste jaren in België is geboekt, nog veel uitdagingen zijn om de noodplannen operationeler en doeltreffender te maken op alle niveaus van de verschillende hulpdiensten. Hij benadrukt dat dit zowel geldt tijdens de exploitatieperiode van de kerncentrales als in de periode daarna. De HGR wijst op een bijzonder aspect dat door de coronacrisis en de juridische geschillen die zich hebben voorgedaan, aan het licht is gekomen, namelijk het gebrek aan een rechtsgrondslag voor het invoeren van verplichte procedures of voor het opleggen van of het toezicht op het treffen van maatregelen die in het algemeen belang de individuele vrijheden beperken (zoals, in geval van nucleaire noodsituaties, evacuatie of herhuisvesting).

Als gevolg van al deze elementen oordeelt de HGR dat vanuit ethisch, milieu- en gezondheidsoogpunt niet kan worden gesteld dat kernsplijtingsenergie, zoals die momenteel wordt gebruikt, aan de beginselen van duurzame ontwikkeling voldoet.

De haalbaarheid en de gevolgen van de stillegging van de kerncentrales in het kader van de huidige energietransitie op Belgisch en Europees niveau voor de opwekking van elektriciteit zijn het voorwerp geweest van talrijke analyses. De HGR concludeert uit de studies van onder meer EnergyVille en het Federaal Planbureau dat een uitstap uit de kernenergie mogelijk is voor België, tegen een relatief beperkte kostprijs, ook in termen van CO₂-impact. De Raad wenst tevens te benadrukken dat, ongeacht de al dan niet verlenging van 2 GWe aan kernenergie in België na 2025, de transitie een vastberaden politieke wil op regionaal, Belgisch en Europees niveau zal vergen om zo snel mogelijk voor de nodige technologische en industriële ontwikkelingen te zorgen. Een van de prioriteiten is op tijd te beschikken over gascentrales met gecombineerde cyclus en de overgang te plannen naar blauwe waterstof (geproduceerd met fossiele brandstoffen, maar met opvang van de uitgestoten CO₂), waarvoor aanzienlijke CO₂-opvang- en -opslag- of -gebruikscapaciteiten vereist zijn (per ton waterstof wordt 8 ton CO₂ uitgestoten - Proost, 2021). Er zullen ook investeringen nodig zijn op het gebied van energieopslag, netwerkbeheer, de interconnecties, de ontwikkeling van de waterstofsector en de levensduur en recycling van qua grondstoffen kritische consumptiegoederen. De HGR herinnert er ook aan dat het grootste deel van de CO₂-uitstoot niet afkomstig is van de elektriciteitsproductie (amper 14 % van het totaal), maar van de verwarming van gebouwen (vooral in de tertiaire sector), het vervoer en het gebruik van fossiele grondstoffen in de zware industrie en de verwerkende industrie en dat in deze sectoren de nodige inspanningen zullen moeten worden geleverd en meer selectieve investeringen worden gedaan. Meer in het bijzonder, vervoer alleen al veroorzaakt bijna een kwart van de totale uitstoot van broeikasgassen. Landbouwpraktijken en de intensieve veeteelt (gekoppeld aan een bovendien overmatige vleesconsumptie, zie de voedingsaanbevelingen van de HGR) spelen ook een aanzienlijke rol bij de productie van broeikasgassen.

Wat de modaliteiten van de uitstap uit de kernenergie betreft (onmiddellijke algehele uitstap of geleidelijke uitstap, voor zover de mogelijkheid van een geleidelijke uitstap nog steeds actueel is), concludeert de HGR dat er argumenten zijn voor en tegen de eventuele verlenging van twee kernreactoren na 2025 maar dat er geen markante elementen zijn die een keuze in de ene of de andere richting zouden "opleggen". Elke optie houdt risico's in, die weliswaar van verschillende aard zijn en verschillende implicaties hebben op economisch en ethisch vlak, op het vlak van de energievoorzieningszekerheid, van het leefmilieu en van de volksgezondheid.

De HGR wijst erop dat na de (onmiddellijke of geleidelijke) stillegging van de kerncentrales de nucleaire veiligheidsrisico's ook in de toekomst zullen blijven bestaan en aan de nodige controles en maatregelen moeten worden onderworpen: tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof, installaties voor nucleair onderzoek (SCK CEN), industriële en medische bronnen en de productie daarvan (IRE, BR2, cyclotrons), vervoer van bronnen, ontmanteling van nucleaire installaties. De kwestie van het beheer van het kernafval en de financiering daarvan blijft een zware erfenis. De HGR beveelt met name aan op korte termijn een beslissing te nemen over de geologische berging van hoogradioactief afval. Er is nog veel aandacht nodig voor de nucleaire noodplannen, zowel voor onze kerncentrales zolang die in bedrijf zijn als voor de risico's van buitenlandse kerncentrales die zich in de nabijheid van onze grenzen bevinden. Ook de risico's van terrorisme en cyberaanvallen zullen blijven bestaan en men zal in staat moeten zijn om deze het hoofd te bieden. Belangrijke aandachtspunten in dit verband

zullen het behoud zijn van voldoende nucleaire deskundigheid (met inbegrip van de opleiding van deskundigen die in de toekomst nodig zijn) en een voldoende financiering van het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, waarvan het federale karakter eveneens moet worden gevrijwaard.

De HGR zou willen afsluiten door te benadrukken dat de noodzakelijke energietransitie die in Europa (Green Deal) en elders in gang is, verenigbaar moet blijven met de beginselen van duurzame ontwikkeling en niet mag leiden tot nieuwe onevenwichtigheden en nieuwe risico's, met name voor de meest kwetsbare bevolkingsgroepen in Europa en in de wereld. Er zal aan meerdere (ethische, economische, sociologische, enz.) uitdagingen in termen van beleidsintegratie het hoofd moeten worden geboden: respect voor het milieu, bescherming van de watervoorraden en waterkwaliteit, aandacht voor de gezondheid van de werknemers en de bevolking in de mijnbouwlanden, hier en elders, circulaire economie (winning, ontwerp, bestrijding van snelle veroudering, recycling), zorg voor billijkheid binnen en tussen de generaties (redelijk beheer van de hulpbronnen waarbij de toegang tot grondstoffen voor toekomstige generaties wordt gewaarborgd), zoals uitgewerkt in het SEPIA-rapport (VUB, 2011)....

De HGR is van mening dat dit alleen mogelijk zal zijn:

- door, in een geest van kritische moderniteit en billijkheid, te aanvaarden dat het paradigma van onbeperkte groei ter discussie wordt gesteld,
- door op individueel en collectief niveau processen van innovatie in het beheer van het openbaar goed te ontwikkelen,
- en door na te denken over een nieuw economisch paradigma dat niet gekoppeld is aan consumptie, alsook over creatieve processen van sociaal billijke en positieve heruitvinding van levensstijlen.

I INLEIDING: ACHTERGROND EN DOELSTELLINGEN

De klimaatopwarming door broeikasgassen is volgens de Hoge Gezondheidsraad (HGR) zonder twijfel een van de belangrijkste problemen en risico's die op mondiaal niveau dringend moeten worden aangepakt. De gevolgen ervan worden steeds zichtbaarder en ernstiger, zoals de overstromingen in ons land in de zomer van 2021, naast andere rampen, op tragische wijze hebben aangetoond. Het laatste verslag van het IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) heeft de huidige versnelling van het verschijnsel nog eens bevestigd en de aandacht van de wereld hierop gevestigd. Tegen deze achtergrond wordt kernenergie regelmatig voorgesteld als een ideaal en onproblematisch alternatief voor fossiele brandstoffen bij de opwekking van elektriciteit, als onderdeel van een energiemix, omdat kerncentrales tijdens de werking bijna geen CO₂ uitstoten. De realiteit is echter complexer en kernenergie kent haar eigen risico's.

Dit verslag van de HGR, dat aansluit op het advies van de HGR nr. 9235 (2016) over het risico van nucleaire ongevallen en de nucleaire veiligheid na Fukushima, heeft tot doel de verschillende componenten van het nucleaire risico in herinnering te brengen en daarbij de aandacht te vestigen op de specifieke kwetsbaarheden en moeilijkheden in België, onder meer op het gebied van noodplanning. Daarnaast werd ook rekening gehouden met de lessen die werden getrokken uit het ongeval in Fukushima alsook uit het crisis- en het risicobeheer van de coronapandemie. De HGR heeft zich ook gebogen over de implicaties van de splijtstofcyclus en de maatschappelijke kwetsbaarheid, waaronder het gebruik van splijtstoffen bij kwaadwillige handelingen en oorlog. Op gezondheidsvlak werden de meest actuele wetenschappelijke gegevens gebruikt betreffende het risico op blootstelling aan ioniserende straling voor de mens (met name voor gevoelige groepen, d.w.z. vooral embryo's/foetussen en kinderen). Er is kritisch nagedacht over de plaats van kernenergie ten opzichte van de doelstellingen en criteria van duurzame ontwikkeling, met als doel alle aspecten en uitdagingen waarmee rekening moet worden gehouden onder de aandacht te brengen. In het verslag werd ingegaan op de energietransitie en de implicaties van de keuzes die België heeft gemaakt om zijn kerncentrales tussen 2022 en 2025 te sluiten, al dan niet met een mogelijke verlenging met 10 (of zelfs 20) jaar voor de 2 recentste kerncentrales. Vanuit dit oogpunt heeft de HGR ook de uitdagingen, het potentieel en de risico's van hernieuwbare energie en elektriciteitsbronnen beoordeeld.

II SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1 Nucleaire risico's en Belgische kwetsbaarheden

De HGR heeft de risico's van kernenergie en de Belgische kwetsbaarheden uitvoerig besproken, met name m.b.t. de veiligheid van de kerncentrales, het beheer van het kernaafval, de veiligheidsaspecten (proliferatie van splijtstoffen voor militair gebruik, *safeguards*, terrorisme), de militaire risico's, de bescherming van de gezondheid van gevoelige en kwetsbare groepen en de noodplannen. Bij deze denkoefening heeft de HGR rekening gehouden met de grensoverschrijdende dimensie en de technologische kwetsbaarheidsaspecten, alsmede de Europese context (crisisbeheer, verzekerbaarheid, harmonisatie en coherentie van de Europese verbintenissen en verplichtingen, in het bijzonder voor de veiligheid en het afval).

1.1 Nucleaire veiligheid

Sinds het ongeval in Fukushima wordt algemeen aanvaard dat een ernstig nucleair ongeval waar ook ter wereld, ook in Europa, niet volledig kan worden uitgesloten, ondanks het hoge veiligheidsniveau van de meeste Europese kerncentrales en de verbeteringen die zijn aangebracht naar aanleiding van de lessen die zijn getrokken uit incidenten en ongevallen in het verleden. Dit is expliciet erkend in een gezamenlijk rapport (HERCA - WENRA, 2014) van de verenigingen HERCA (*Heads of Radiation Protection Authorities*, de Europese stralingsbeschermingsautoriteiten) en WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*, West-Europese veiligheidsautoriteiten). Zoals is gebleken uit de ongevallen van Tsjernobyl en Fukushima, strekken de gevolgen van dergelijke ongevallen zich uit tot ver van de plaats van het ongeval en zijn zij van lange duur (ze kunnen verscheidene generaties treffen).

De gevolgen voor de gezondheid van de bevolking waren bij het ongeval van Fukushima veel minder ernstig dan bij het ongeval van Tsjernobyl. Het betrof weliswaar een veiliger type van kernreactor dan die van Tsjernobyl, maar minder gunstige weersomstandigheden zouden veel ernstigere gevolgen gehad kunnen hebben, aangezien het grootste deel van de radioactieve wolk naar de oceaan is gestuwd. De twee recentste Belgische kernreactoren (Doel 4 en Tihange 3), die in geval van moeilijkheden met de energievoorziening door de overheid in aanmerking worden genomen voor een eventuele verlenging van de activiteit met 10 jaar, hebben een hoog veiligheidsniveau en zijn voor meerdere aspecten (bv. containment) veiliger dan de naburige centrales (Gravelines, Chooz, Borssele). Het risico van een nucleair ongeval in Gravelines (de krachtigste kernsite in de Europese Unie (EU), 6 GWe, met 4 op 6 reactoren ouder dan 40 jaar) vormt een bijzonder probleem voor België gezien de dominante windrichting (gericht op de Belgische kust), de seizoensgebonden dichtheid van de betrokken bevolking en de moeilijkheden om deze te evacueren. Er is ook een risico van verontreiniging van het grondwater en het zeewater. Weet dat Frankrijk van plan is om rond 2035 in Gravelines een EPR (*European Pressurized Reactor*, een reactor van het type III ("derde generatie")) te bouwen. De risico's van Gravelines worden echter gedeeltelijk getemperd door de afstand, aangezien de hoogste doses en dus de grootste kans dat bij een ernstig ongeval een min of meer langdurige evacuatie nodig is, zich voornamelijk (maar niet uitsluitend, zoals het ongeval in Fukushima heeft aangetoond) in Frankrijk bevinden.

Onze meest recente centrales hebben weliswaar een hoog veiligheidsniveau, maar toch zijn ze niet onfeilbaar. Zo werd in het ontwerpstadium geen rekening gehouden met een aantal

zogenaamde "*beyond design basis accidents*" (b.v. *meltdown* van de kern of scheur in het reactorvat) overeenkomstig de destijds geldende regelgeving. Belangrijke voorzieningen zoals *core catchers* (bedoeld om de kern op te vangen in geval van een meltdown) werden dus niet in het ontwerpstadium voor onze centrales voorzien. Deze voorzieningen kunnen niet achteraf worden geïnstalleerd of volledig worden aangevuld. In het kader van tienjaarlijkse herzieningen of de verlenging van de vergunning zou een eventuele verdikking van de funderingsplaten, zoals momenteel gevraagd door het ASN in Frankrijk, kunnen worden overwogen. Bovendien zijn de externe gebeurtenissen waartegen de kerncentrales beschermd zijn, in hoofdzaak accidentele gebeurtenissen van civiele oorsprong die op dat moment werden geïdentificeerd (neerstortende vliegtuigen, explosie van een schip of een gasexplosie). Deze centrales zijn echter mogelijke doelwitten voor kwaadwillige handelingen (terrorisme, raketten, sabotage, cyberaanvallen), ook al moet worden erkend dat er heel wat voorzorgsmaatregelen zijn genomen om die te voorkomen, ook voor cyberaanvallen in Belgische centrales ². In dit verband moeten de gebeurtenissen in augustus 2014 in Doel 4 in herinnering worden gebracht. Op VN-niveau is een initiatief inzake cyberveiligheid genomen om de kwetsbaarheid van kritische infrastructuur te verminderen.

Het risico van een ernstig nucleair ongeval kan dus niet worden uitgesloten en België is in dit opzicht bijzonder kwetsbaar wegens de kenmerken van de betrokken locaties: dicht bij grote steden en internationale verkeersaders, verzadigd weggennet en hoge bevolkingsdichtheden. De site van Doel heeft bijvoorbeeld de hoogste bevolkingsdichtheid van Europa over een afstand van 100 tot 200 km, met geografische evacuatiemoeilijkheden, Seveso-industrieën in de nabijheid en recent toegenomen transporten van tankers met schaliegas (Antwerpen). De potentiële gevolgen zijn aanzienlijk, zowel wat de gezondheid van de kwetsbare bevolkingsgroepen als de economische schade en de schade voor het internationale zee-, weg- en spoorvervoer betreft (vooral in het geval van de Regio Antwerpen). Dat doet de vraag rijzen of een dergelijke situatie voor ons land beheersbaar en economisch overkomelijk zou zijn (in termen van bruto binnenlands product (BBP)). Daarnaast is er het moeilijk te beheren probleem van de grote hoeveelheden vast en vloeibaar afval ten gevolge van het kernongeval, zoals na het ongeval in Fukushima (HGR, 2016). Het is vooral de mogelijkheid van een ernstig ongeval die de grondslag vormde voor de beslissing van Duitsland om uit de kernenergie te stappen (*Ethics Commission for a Safe Energy Supply*, 2011). **De HGR is van mening dat, gezien de bijzondere kwetsbaarheid van de Belgische sites, de voortzetting van dit risico gedurende nog eens 10 of 20 jaar milieu-, gezondheids- en ethische vragen oproept.**

1.2 Radioactief afval

Een belangrijk en onontkoombaar zwak punt van kernenergie is de bestemming van verbruikte splijtstof en zeer langlevend radioactief afval (meerdere tienduizenden jaren) en de mogelijke gevolgen daarvan voor de gezondheid van de toekomstige generaties. Volgens de huidige stand van de kennis is er voor dit soort afval geen alternatief dan diepe geologische berging. Over deze oplossing bestaat er weliswaar een brede wetenschappelijke consensus op internationaal niveau, maar geen brede maatschappelijke consensus, zoals blijkt uit de meningsverschillen die zijn weergegeven in het laatste advies van de Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling (FRDO) over dit onderwerp: kan men, ondanks de solide wetenschappelijke basis en de grondige geologische kennis, bij gebrek aan ervaring hiermee, werkelijk garanderen dat dit afval duizenden jaren lang geïsoleerd blijft van mens en milieu? Hoe dan ook moet er snel een beslissing worden genomen, want het is aan de generatie die het afval heeft geproduceerd om het beheer ervan op lange termijn te waarborgen. Aangezien

² Opmerkelijk is dat België volgens het nieuwe rapport van het NTI (*Nuclear Threat Initiative*) Nuclear Security Index (<https://www.ntiindex.org/country/belgium/>) niet goed scoort op het gebied van nucleaire cyberveiligheid (50/100).

het afval al bestaat, valt de beslissing feitelijk onder een realiteitsbeginsel. Bij diepe geologische berging van afval wordt een passief veiligheidsconcept gehanteerd dat berust op de stabiliteit van de geologische lagen waarin het wordt geplaatst en dat geen menselijk ingrijpen vergt. De geldigheid van dit concept wordt ondersteund door geoprospectieve studies en talrijke analoge fenomenen die in de natuur worden aangetroffen, waarvan de belangrijkste de natuurlijke kernreactoren van Oklo in Gabon en de uraniummijn van Cygar-Lake in Canada zijn. Het is van essentieel belang om de veiligheid op lange termijn op passieve wijze te waarborgen, omdat een permanente en voortdurende bewaking van de bergingsfaciliteiten onmogelijk gedurende zulke lange periode kan worden gegarandeerd. De geschiedenis heeft immers geleerd dat men niet onbeperkt kan vertrouwen op de stabiliteit van sociale stelsels. Dit doet niets af aan de noodzaak van een zekere mate van controle door toekomstige generaties. De taak om de herinnering aan de site in stand te houden en de kennis die nodig is om deze te bewaken door te geven wordt een intergenerationele verantwoordelijkheid (wat trouwens ook geldt voor zeer langdurige tijdelijke opslag).

Diepe geologische berging van afval brengt voor toekomstige generaties de noodzaak met zich van langdurige bewaking en instandhouding van kennis en herinnering, een last die zij waarschijnlijk gedurende een lange periode, mogelijk duizenden jaren, zullen dragen. Deze oplossing moet bijgevolg uit ethisch oogpunt als moeilijk aanvaardbaar worden beschouwd. Echter, in de huidige situatie leiden de andere voorgestelde oplossingen tot een nog zwaardere belasting voor de toekomstige generaties. Daardoor is de huidige generatie gedwongen deze problematische oplossing als de ethisch best te rechtvaardigen oplossing aan te nemen.

Een ander discussiepunt betreft het optimale karakter van de geologische berging van verbruikte splijtstof of van oud afval zoals het bitumenafval van Eurochemic op het Belgische grondgebied zelf. Idealiter zou het binnen een open Europees kader mogelijk moeten zijn om op het Europees grondgebied een beperkt aantal bergingsfaciliteiten te vestigen, eventueel geoptimaliseerd naar gelang het soort afval. Het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstof is echter momenteel een nationale verantwoordelijkheid. Dit is met name duidelijk vastgelegd in het door België geratificeerde *Gezamenlijk Verdrag inzake de Veiligheid van het Beheer van Bestraalde Splijtstof en inzake de Veiligheid van het Beheer van Radioactief Afval*. Internationale oplossingen (die met name door Nederland worden overwogen) zijn niet a priori uitgesloten, maar ze zouden in ieder geval niet gemakkelijk te bedingen zijn. Voor een dergelijke oplossing is een eigen juridisch kader nodig, waarin de rechten en verantwoordelijkheden van de partijen zijn vastgelegd en dat een zekere wederkerigheid zou vereisen. Dat zou ook betekenen dat het hele afvalbeheersysteem moet worden gedeeld, waardoor het moeilijk is om het achteraf in te voeren. **De HGR beveelt aan de mogelijkheden tot samenwerking met buurlanden te onderzoeken voor de geologische berging van verbruikte splijtstof.**

Een deel van de nucleaire technologieën die bekend staan als Gen IV (*Generation IV reactors*) berusten op permanente recycling van de verbruikte splijtstof om het plutonium en het uranium opnieuw te gebruiken, met of zonder transmutatie van langlevende radionucliden (lagere actiniden, maar geen splijtingsproducten). Dit is het geval voor het Franse snelle kweekreactorproject Astrid (*Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*), een project dat verbonden is met de mogelijke opwerking die wordt overwogen om de actiniden in het afval gedeeltelijk te reduceren, maar waarvan de stopzetting de sluiting van de splijtstofcyclus in gevaar brengt. Myrrha (*Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications*) is ook een transmutatiefaciliteit die snelle neutronen produceert (ADS: *Accelerator Driven System*), onder andere bestemd voor het onderzoek van

de transmutatie van radionucliden in afval. Deze radionucliden moeten eerst worden afgescheiden en opgenomen in de targets die aan de neutronenflux worden onderworpen. In feite zijn dit opties op zeer lange termijn, die onlosmakelijk verbonden zijn met de voortzetting van een volledig nucleair programma met opwerking. Het is belangrijk te beseffen dat deze technologieën geen oplossing zijn voor het huidige radioactieve afval en nieuwe soorten afval en verbruikte splijtstof voortbrengen waarvoor momenteel op industrieel niveau geen opwerkingsprocedures bestaan. **In dit verband adviseert de HGR om na te denken over de langetermijndoelstellingen van het onderzoek dat wordt uitgevoerd bij het SCK CEN (Studiecentrum voor kernenergie - *Centre d'étude de l'énergie nucléaire*), met name betreffende het Myrrha-project dat aanzienlijke investeringen vergt (totaal budget geraamd op 1,6 miljard euro, waarvan de eerste fase door de regering is vastgelegd voor 0,56 miljard euro).**

De HGR is zich er ook van bewust dat er een versnelde ontwikkeling van nieuwe technologieën gaande is, onder andere in de VS, met als doel reactoren te ontwikkelen die gemakkelijker in te zetten en zuiniger zijn (*Small Modular Reactors* (SMR)) in de vorm van een *Pressurized Water Reactor* (PWR)) en andere die een rendabeler gebruik van hulpbronnen met minder afval mogelijk maken (*Fast Breeder Reactors* (FBR)) en die energie-efficiënter zijn (*High Temperature Reactors*; HTR). Ook wordt gestreefd naar veiliger reactoren door een ander ontwerp en containmentconcept, met minder risico op proliferatie. Sommige van deze reactoren zijn niet alleen bestemd voor het opwekken van elektriciteit, maar ook van energie (warmte voor industrieel gebruik en waterstofproductie). De meeste daarvan zijn nog in de ontwikkelingsfase. Gezien de vele mislukkingen in een ontwikkelingsgeschiedenis die zich over 70 jaar uitstrekt, zijn nog grondige evaluaties nodig inzake veiligheid en operationele en economische haalbaarheid. De conclusies zijn derhalve voorbarig. Een eventuele inzet die op industrieel niveau voor energieopwekking vergund en beschikbaar is, is op zijn vroegst in 2030-2035 te verwachten. Deze types van reactoren zijn ook in Europa onderzocht en getest, maar al tientallen jaren opgegeven. De spreiding van vele kleine eenheden brengt bovendien andere soorten risico's met zich. Deze ontwikkelingen, die concurreren met de opmars van Rusland en China, die reeds soortgelijke concepten hebben ontwikkeld (Rusland: drijvende SMR, FBR; China: EPR en AP1000 operationeel, HTR en SMR PWR voor 2024), hebben ook een niet te verwaarlozen militaire dimensie: het Bill Gates-project voor het beheer van plutoniumvoorraden en voorts ook het project voor microreactoren die op het slagveld kunnen worden ingezet (HTR DoE-DoD met nieuwe civiele en militaire splijtstofcyclus). **Ook al zouden deze ontwikkelingen toekomstperspectieven kunnen creëren, bieden deze reactoren hoe dan ook geen oplossing voor de huidige keuzes die België tegen 2035 moet maken. Bovendien werpt hun gebruik voor militaire doeleinden een schaduw op hun verenigbaarheid met de beginselen van duurzame ontwikkeling.**

Tot slot moet worden opgemerkt dat China onlangs een stap heeft aangekondigd in de verwezenlijking van een kleine gesmolten zout reactor (MSR in het Engels - *molten salt reactor*) die wordt gebouwd met thorium-brandstof. Thorium is een van de Gen IV-ontwikkelingen die pas tegen het midden van de eeuw energievooruitzichten kunnen bieden en buiten het bestek van dit verslag van de HGR blijven. Hetzelfde geldt overigens voor kernfusie, waarvoor in Europa en de rest van de wereld aanzienlijk meer middelen worden uitgetrokken, maar waarvan de bijdrage aan de energieproductie niet voor 2060 wordt verwacht.

Welke beslissingen er uiteindelijk ook worden genomen over het al dan niet verlengen van de levensduur van twee kerncentrales na 2025, het passief verbonden aan het radioactieve afval dat in het verleden werd geproduceerd, blijft een zware last die door de overheid moet worden

beheerd. Een verlenging van deze centrales zou tevens leiden tot bijkomend zeer langlevend afval en/of verbruikte splijtstof (naar rato van 4%/1000 MWe/10 jaar). Dit is betrekkelijk weinig in verhouding tot de totale hoeveelheid afval en/of verbruikte splijtstof die reeds is geproduceerd, maar niet verwaarloosbaar, terwijl het passief verbonden aan het afval uit het verleden nog lang niet is weggewerkt.

In de ethische beschouwing moet ook worden benadrukt dat er grote onzekerheid heerst over de mogelijke gevolgen van de langdurige berging van kernafval voor de gezondheid van de bevolking. Deze kunnen immers enorm variëren, afhankelijk van scenario's die op deze tijdschaal moeilijk te voorspellen zijn, alsook van de kennis van de feitelijke fysisch-chemische kenmerken van het afval, welke samenhangt met de traceerbaarheid van de verpakingsprocessen (voor oud afval kan dit problematisch zijn) en van de waarschijnlijke ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis over de gevolgen van blootstelling aan ioniserende straling (zie punt 1.5).

De HGR beveelt aan

- om een nationaal beleid inzake verbruikte splijtstof op te stellen waarin duidelijk wordt bepaald hoe (opwerking of diepe geologische berging) en wanneer deze zal worden behandeld;
- om het nationale beleid inzake middelactief en hoogactief langlevend afval (B- en C-afval) vast te leggen door te beslissen om dit afval in een diepe geologische berging te plaatsen, met bijzondere aandacht voor veiligheid en nauwkeurige kennis van de fysisch-chemische kenmerken van het afval;
- om het wetgevend kader voor de provisies te verbeteren, kwestie van ervoor te zorgen dat deze toereikend zijn en op het juiste moment voor België beschikbaar zijn. De Europese Commissie (EC) zou deze garanties ook moeten veiligstellen voor de grensoverschrijdende elektriciteitsexploitanten, aangezien zij de liberalisering van de elektriciteitsproductie heeft bevorderd;
- om een maatschappelijk bestuur in te stellen dat garant staat voor degelijke en transparante besluitvormingsprocessen.

De HGR vestigt vooral de aandacht op het feit dat het van essentieel belang is om een statuut te geven aan de verbruikte splijtstof. Zonder een dergelijk statuut kan deze niet worden beheerd en wordt de financiële last overgedragen aan de toekomstige generaties. Ook moet worden voorkomen dat er een beleid wordt gevoerd van onbeperkte opslag op de sites van de centrales, wat op de lange termijn niet als veilig kan worden beschouwd. (FANC-advies nr. 2020-05-29-FB-5-4-2-NL, 2020)

1.3 Risico's verbonden aan militair gebruik

Er is een duidelijk verband tussen kernenergie voor civiele doeleinden en militaire toepassingen (kernwapens). Dezelfde grondstoffen (uranium, plutonium) worden gebruikt en het is gemakkelijk om tussen civiele en militaire programma's te schakelen. Proliferatie is een bedreiging die samenhangt met kernenergie en het Non-Proliferatieverdrag voor Kernwapens (NPV) heeft gemotiveerde staten er niet van weerhouden hun doelen te verwezenlijken.

De huidige kernwapens hebben een massale vernietigingskracht van 30 tot 3.000 maal de atoombom van Hiroshima. Aangezien het hoofdkwartier van de NAVO (Noord-Atlantische Verdragsorganisatie) en de Europese instellingen zich in Brussel bevinden, is België een bijzonder kwetsbaar doelwit, te meer daar vermoed wordt dat er op de luchtmachtbasis Kleine-Brogel kernwapens aanwezig zijn.

Er zijn tal van voorbeelden van incidenten en ongevallen met kernwapens, om nog maar te zwijgen over de potentieel dramatische gevolgen van vals alarm (zoals in Hawaï in 2018) en de risico's van terroristische aanslagen of cyberaanvallen, die sinds het Stuxnet-virus³ (dat zou zijn ontwikkeld en gebruikt door Israël en de VS tegen Iran) een groeiend probleem zijn en wereldwijde regelgeving vereisen. De grootste uitdaging is de wereldwijde vernietigingscapaciteit van de voorraden atoombommen die in een tiental landen, met name de Verenigde Staten en Rusland, aanwezig zijn. Het concept van nucleaire afschrikking, met zijn dimensie van psychologische oorlogsvoering, heeft zich zo ontwikkeld dat het risico dat ze worden gebruikt, verder is toegenomen (met een orde van grootte van 1% per jaar, volgens de hoorzittingen van de Amerikaanse *National Academy of Sciences*). Op weg naar een nieuwe Koude Oorlog is een "no first use"-verbintenis in het licht van dit grote risico absoluut op zijn plaats. De HGR merkt op dat er in België geen specifiek noodplan bestaat voor het geval er een nucleaire oorlog uitbreekt, ondanks de kwetsbaarheid van het land in dit opzicht. Zoals andere internationale organisaties al eerder hebben benadrukt, **oordeelt de HGR dat de medische responscapaciteit in het geval van een nucleaire explosie (per ongeluk of in geval van een terroristische aanslag of oorlog, volledig zou worden overschreden.**

Volgens de HGR is de uitbanning van alle kernwapens de enige manier om een ramp te voorkomen. Deze doelstelling is vastgelegd in het Verdrag inzake de non-proliferatie van kernwapens, dat België heeft geratificeerd, en recentelijk nog duidelijker en dringender in het Verdrag tot verbod op kernwapens (2017), dat door 122 landen werd onderhandeld en goedgekeurd. Zoals de *World Federation of Public Health Associations*, de *World Medical Association* en het *Internationaal Comité van het Rode Kruis* (ICRC) al eerder hebben gedaan, beveelt de HGR aan dat België ernstig overweegt ook het Verdrag tot verbod op kernwapens te ondertekenen.

1.4 Risico's verbonden aan terrorisme

Dit type risico vormt één van de grootste bedreigingen vandaag en voor de toekomst. Nucleair terrorisme kan verschillende vormen aannemen: conventionele aanvallen (raketten, vliegtuigen, drones, enz.) tegen civiele of militaire nucleaire installaties of het vervoer van radioactief materiaal, sabotage van civiele nucleaire installaties (met inbegrip van cyberaanvallen), het gebruik van vuile bommen of andere technieken om radioactiviteit te verspreiden of het gebruik van rudimentaire kernbommen of gestolen kernwapens (gelukkig een nog steeds ongekend *worst-case* scenario). De gebruikte bronnen hebben verschillende herkomsten (medisch, industrieel, smokkelwaar, enz.). Ziekenhuizen vormen een specifiek doelwit (aanwezigheid van brachytherapiebronnen, nucleaire geneeskunde, opslag van antidoten) en zijn moeilijker te controleren dan industriële installaties, omdat ziekenhuizen intrinsiek noodzakelijkerwijs opener en toegankelijker zijn.

De HGR adviseert en steunt het ontwikkelen van een alomvattend noodplan voor dergelijke situaties. De HGR wijst op de noodzaak om voldoende voorraden

³ Stuxnet: een computervirus dat alleen computers aanvalt met software die door Siemens is ontwikkeld voor nucleaire installaties.

farmaceutische producten aan te leggen en aan te houden om de gevolgen van interne stralingsbesmetting te beperken en ervoor te zorgen dat deze snel beschikbaar zijn voor hulpdiensten, ziekenhuisdiensten en de betrokken bevolking. De HGR vestigt bovendien de aandacht op de specifieke kenmerken van door terrorisme veroorzaakte radiologische ongevallen en op de noodzaak om de interventiediensten naar behoren op te leiden en uit te rusten. De HGR wijst er voorts op dat sommige terroristische daden er minder op gericht zijn om mensen te doden dan om paniek en verwarring in de samenleving te veroorzaken. De nodige communicatiemiddelen moeten dus worden voorbereid en ingezet om te trachten een dergelijke paniek te voorkomen.

1.5 Risico's voor gezondheid en milieu

Bij hoge doses, zoals in ongevalsituaties, in de nabijheid van hoogactieve bronnen of in het geval van een atoombom, zijn de risico's van ioniserende straling zeer groot (stralingsziekte, brandwonden, dood). Deze werden al zeer vroeg erkend. Voor lagere doses heerst nog steeds veel onzekerheid omtrent de risico's van ioniserende straling voor de menselijke gezondheid en het milieu, met name wat betreft de niet-kanker effecten (zoals hart- en bloedvataandoeningen en aandoeningen van hersenen en zenuwstelsel), epigenetische effecten, de gecombineerde effecten van blootstelling aan ioniserende straling en chemische stoffen, erfelijke effecten (nog niet waargenomen bij de mens, maar op ruime schaal aangetoond in dierstudies), de effecten van blootstelling tijdens de zwangerschap (embryo's en foetussen) en de effecten van blootstelling bij kinderen. Daarnaast zijn er de psychologische effecten (angst, stress, enz.) van niet-intentionele bestraling of radioactieve besmetting. In dit verband kan ook worden gewezen op de soms ernstige indirecte gezondheidseffecten van nucleaire ongevallen, zoals die welke worden veroorzaakt door de weigering om zich over de slachtoffers te ontfemen uit vrees voor besmetting (zie Fukushima).

Milieueffecten worden hier niet in detail besproken. Echter, hoewel er instrumenten bestaan om de milieueffecten te beoordelen, zoals die welke door ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) en de EU zijn ontwikkeld, blijven er nog veel onzekerheden bestaan. De bezorgdheid betreft hoofdzakelijk het gebrek aan onderzoek naar de verstoring van het ecosysteem en de chronische effecten van ioniserende straling op niet-menselijke biota: multigenerationele effecten (veroorzaakt door chronische blootstelling gedurende meerdere generaties en transgenerationele effecten (overdracht via epigenetische mechanismen).

Er zijn in de nucleaire wereld ernstige problemen op het vlak van de onafhankelijkheid van de deskundigheid op het gebied van gezondheid en milieu. Politieke invloeden en belangenconflicten zijn waarschijnlijk gelinkt aan het feit dat sommigen vraagtekens zetten bij de voorzichtige aanpak die door de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) wordt bepleit, nl. een Lineaire Relatie zonder Drempel (LZD of LNT – *Linear No Threshold model*) tussen blootstelling aan ioniserende straling en het risico van kanker en erfelijke effecten. Hetzelfde geldt voor de vastgestelde tegenstand tegen een voorzorgsbenadering waarbij de beperkingen in de huidige beschikbare kennis en nieuwe onderzoeksgegevens in aanmerking worden genomen.

Een belangrijk probleem bij de risicobeoordeling is het oneigenlijk gebruik van de *evidence-based approach* (EB). Zo wordt EB door UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) geïnterpreteerd als een op zekerheid ("certainty") gebaseerde

*aanpak (UNSCEAR 2012 Report – Annex A - Attributing health effects to ionizing radiation and inferring risks, 2015). Gegevens die niet 100% bewezen zijn, worden als onwetenschappelijk beschouwd. Een dergelijke opvatting van EB schiet tekort bij veel besluitvormingsproblemen op het gebied van de volksgezondheid, terwijl het daarbij vaak gaat om besluiten die moeten worden genomen ondanks een gebrek aan sterke bewijzen, laat staan zekerheid, vooral ten aanzien van mogelijke langetermijneffecten. Dergelijke besluiten moeten worden gebaseerd op de beschikbare kennis (*knowledge based approach*), met inbegrip van de meest recente onderzoeksgegevens. Wanneer er voldoende bewijs is en wetenschappelijk aannemelijk is dat er een risico bestaat, moet de toepassing van voorzorgsmaatregelen worden overwogen. Er moet op worden gewezen dat het oneigenlijk gebruik van EB (zoals in de 100% *certainty based approach*) een ernstig risico van misbruik inhoudt (strategie van de twijfel). Dit is bovendien reeds herhaaldelijk gebeurd, met name in de VS, om een financieel ongunstige wijziging van de regelgeving (bv. voor de tabaksindustrie) te voorkomen of zo lang mogelijk uit te stellen door voortdurend nieuwe twijfels te wekken. Bovendien is het, gezien de potentieel zeer ernstige gevolgen, bijna onmogelijk en zeker moeilijk te rechtvaardigen dat prospectief onderzoek op mensen met radioactieve stoffen of bronnen van ioniserende straling ethisch verantwoord wordt uitgevoerd.*

Dit leidt allemaal tot misleidende beweringen in naam van de wetenschap dat geen effecten kunnen worden "toegeschreven" aan ioniserende straling beneden een dosis van 100 mSv (d.w.z. voor de meeste bevolkingsgroepen die zijn blootgesteld aan ioniserende straling na een nucleair ongeval of als gevolg van fall-out van atmosferische kernbomproeven). **De HGR benadrukt dat dergelijke beweringen niet stroken met de huidige biologische en epidemiologische gegevens (die het wetenschappelijke karakter van de voorzichtige aanpak van de ICRP bevestigen) en leiden tot een minimalisering van de risico's waarmee bij de beleidsvorming rekening moet worden gehouden.**

De HGR vestigt bovendien de aandacht op het feit dat de laatste jaren nieuwe gegevens over niet-kankereffecten (zogenaamde deterministische of weefseleffecten) van blootstelling aan ioniserende straling zijn verschenen, die nopen tot een herevaluatie van de risico's van ioniserende straling bij lage (minder dan 100 mSv) en middelhoge (100 tot 500 mSv) doses. De drempels voor het optreden van bepaalde effecten van dit type (hart- en vaatziekten, herseneffecten, cataract, enz.) liggen namelijk ver onder de vorige schattingen. Deze lagere drempels vallen vooral op bij kinderen en embryo's-foetussen die *in utero* zijn blootgesteld en verschillen in functie van de individuele gevoeligheid voor straling. De betrokken mechanismen zijn van een nieuw type dat tot nu toe niet in aanmerking is genomen (epigenetische, mitochondriale en ontstekingseffecten alsook vroegtijdige veroudering) en het onderzoek naar de wisselwerking ervan met andere milieufactoren staat nog in de kinderschoenen.

Gezien de mogelijke implicaties van deze nieuwe gegevens, adviseert de HGR om de nodige steun te verlenen aan verder wetenschappelijk onderzoek naar deze nieuwe effecten en mechanismen.

Meer in het algemeen adviseert de HGR, gezien de vele aanhoudende onzekerheden en de gevolgen daarvan voor de gezondheid, vooral bij kinderen en ongeboren baby's, dat het beleid ter bescherming van de bevolking tegen de gevaren van ioniserende straling door een voorzorgsaanpak wordt gestuurd.

De HGR beveelt met name aan dat in de nucleaire noodplannen maatregelen worden opgenomen die specifiek gericht zijn op de bescherming van kinderen en zwangere vrouwen en dat deze maatregelen, zodra de situatie het toelaat, in alle fasen van een nucleair ongeval worden uitgevoerd.

1.6 Nucleaire noodplannen

De HGR stelt vast dat er, ondanks de vooruitgang die de laatste jaren in België is geboekt, nog veel uitdagingen zijn om de noodplannen operationeler en doeltreffender te maken op alle niveaus van de verschillende hulpdiensten. Hij benadrukt dat dit zowel geldt tijdens de exploitatieperiode van de kerncentrales als in de periode daarna. De nucleaire risico's die nog steeds aanwezig zijn, zijn immers talrijk (buitenlandse kerncentrales, terrorisme, militaire risico's, radioactief afval, enz.).

Het regeerakkoord (Koninkrijk België, 2020) voorziet in een interfederale en multidisciplinaire werkgroep om de bestaande noodplannen te evalueren en te actualiseren (energievoorziening, voedselvoorziening, voedselrampen, ozon en hitte, rusthuis, nucleair, enz.). De werkgroep moet ook nagaan welke aanvullende noodplannen opportuun zouden zijn.

De HGR verzoekt deze werkgroep zich te buigen over de volgende uitdagingen: de voorbereiding van de snelle distributie van jodiumtabletten aan de Belgische kust, met name tijdens het drukke toeristenseizoen (in het geval van een ongeval op de nucleaire site van Gravelines); evacuatie-oefeningen, met name in de regio Antwerpen; kwetsbaarheidsanalyses en evacuatieplanning (prioritaire en selectieve evacuatie van zwangere vrouwen en kinderen (zie 1.5), kwetsbare en minder mobiele groepen (zorginstellingen, ziekenhuizen, tehuisen)); voorbereiding van de langetermijnfase (kwetsbaarheidsanalyses, strategie en voorbereiding op langdurige evacuaties, psychosociale stoornissen, enz.). De HGR wijst er tevens op dat de psychosociale gevolgen van maatregelen ter bescherming tegen ioniserende straling nog niet goed zijn onderzocht en zullen worden bepaald door de omstandigheden, maar dat er rekening mee moet worden gehouden bij de besluitvorming over dergelijke maatregelen, evenals met de angstgevoelens die het gevolg kunnen zijn van een eventueel besluit om niets te doen. De basis- en voortgezette opleiding (theoretisch en vooral praktisch) van alle betrokken actoren en gezondheidswerkers (artsen, met inbegrip van huisartsen, ambulanciers, enz.) is nog steeds zeer ontoereikend. De operationele plannen moeten klaar zijn en er moet bijzondere aandacht worden besteed aan de menselijke middelen (de plannen voorzien in een groot aantal cellen en comités, maar slechts een klein aantal deskundigen). De versnippering van middelen en niveaus van besluitvorming moet worden vermeden en een centrale coördinatie moet worden bevorderd. Communicatie blijft een belangrijke uitdaging en moet "in vredetijd" zorgvuldig worden voorbereid. Deze moet in twee richtingen werken en gestructureerd zijn.

1.7 Lessen uit de COVID-19-crisis

De coronacrisis heeft ons enkele lessen geleerd of versterkt waarmee rekening moet worden gehouden.

Het risico van een pandemie was bekend, net als het nucleaire risico, maar werd als gemakkelijk beheersbaar beschouwd. Daardoor werd er geen operationeel noodplan ontwikkeld met voldoende continue middelen en personeel om een crisis van deze omvang het hoofd te bieden.

De coronacrisis heeft ook bevestigd dat er behoefte is aan centrale coördinatie (versnippering van bevoegdheden) en een algemeen plan voor de volksgezondheid. **De HGR wijst op een bijzonder aspect dat door de gezondheidscrisis en de juridische geschillen die zich hebben voorgedaan, aan het licht is gekomen, namelijk het gebrek aan een rechtsgrondslag voor het invoeren van verplichte procedures of voor het opleggen van of het toezicht op het treffen van maatregelen die in het algemeen belang de individuele vrijheden beperken (zoals, in geval van nucleaire noodsituaties, evacuatie of herhuisvesting).**

De onvoorspelbaarheid van de evolutie van een dergelijk type crisis is moeilijk uit te leggen en de daaruit voortvloeiende continue noodzaak tot wijzigingen van de maatregelen is voor het publiek moeilijk te begrijpen en te aanvaarden. De vijand is onzichtbaar en potentieel alomtegenwoordig, maar met gevolgen die vaak niet onmiddellijk zichtbaar zijn. Deze aan verandering onderhevige situaties van onzekerheid en complexiteit leiden tot angst of ontkenning, maar ook tot wantrouwen tegenover autoriteiten en deskundigen. Dat zet de deur open voor desinformatie (vaak, zij het niet alleen, door de sociale media) en ongehoorzaamheid, die beide zeer moeilijk te beheersen zijn. Wat de pandemie betreft, zij erop gewezen dat ongehoorzaamheid vooral te maken heeft met een gebrek aan solidariteit bij de bescherming van anderen. Bij een radiologische noodsituatie zouden mensen die de instructies niet opvolgen in de eerste plaats hun eigen gezondheid in gevaar brengen.

De crisis heeft de noodzaak onderstreept om systematisch te zorgen voor interdisciplinariteit onder de deskundigen, waarbij een hiërarchische verhouding nodig blijft tussen enerzijds de beoordeling van het primaire risico aan de bron en anderzijds het beheer van de bescherming. Zowel de virologie als nucleaire veiligheid vervullen een prioritaire rol, gevolgd door respectievelijk de gezondheidsbescherming en stralingsbescherming, in beide gevallen met ondersteuning vanuit de epidemiologie. Bovendien blijkt dat de humane wetenschappen ernstige misverstanden hadden kunnen voorkomen, bv. bij het gebruik van het begrip "essentieel" (hele bevolkingsgroepen hebben moeten horen dat wat zij doen niet essentieel is).

De kenmerken van de twee soorten risico's (die in het ene geval van biologische aard zijn en in het andere met kernsplijting te maken hebben en criticaliteit in de kernenergie) hebben de noodzaak aangetoond van een beter begrip op politiek niveau en passende communicatie o.a. voor exponentiële verschijnselen. Tot slot is een algemene les dat de nodige aandacht moet worden besteed aan crisisbeheersing (nucleair, epidemisch of andere) in de opleiding en het onderwijs.

2 Kernenergie en duurzame ontwikkeling

De HGR heeft de plaats van kernenergie beoordeeld in het licht van de beginselen van duurzame ontwikkeling die door de *Task Force* Duurzame Ontwikkeling van het Federaal Planbureau zijn weerhouden op basis van de Verklaring van Rio (VN, 1992) van 1992. Die beginselen zijn: gemeenschappelijke, maar gedifferentieerde verantwoordelijkheid

(bijzondere verantwoordelijkheid van de ontwikkelde landen, gelet op de druk die hun samenlevingen uitoefenen op het mondiale milieu en de technologie en financiële middelen waarover zij beschikken), integratie (aspecten gezondheid, milieu, economie, samenleving); inter- en intragenerationele billijkheid, voorzorg en participatie, waaraan het beginsel "de vervuiler betaalt" wordt toegevoegd.

Zoals hierboven besproken, werpt kernenergie ten aanzien van deze beginselen ernstige vragen op, waaronder met name met betrekking tot de kwestie van het zeer langlevend radioactief afval en de gevolgen daarvan voor toekomstige generaties, het risico van ernstige ongevallen (gevolgen tot op lange afstand en op lange termijn, die meerdere generaties kunnen treffen), het risico van terrorisme, de banden met kernenergie voor militaire doeleinden en de proliferatie van splijtstoffen voor militair gebruik. Daarbij komt nog een historische cultuur van geheimhouding (deels verklaarbaar door de terroristische dreiging) en een houding van onwrikbaar vertrouwen in wetenschap en voortdurende vooruitgang die (onder meer) de nucleaire wereld kenmerkt. Bovendien moet worden gewezen op het gebrek aan onafhankelijke deskundigheid, politieke invloed en belangenconflicten, ook op het niveau van de gevolgen voor de gezondheid en het milieu, en de financiële onzekerheden (onverzekerbaarheid, aansprakelijkheid bij ongevallen, beschikbaarheid en toereikendheid van provisies voor ontmanteling en, vooral, voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval).

Ook moet op het vlak van het gebruik van de beschikbare hulpbronnen rekening worden gehouden met het lage thermodynamische rendement van de huidige kerncentrales (35%) in vergelijking met de huidige generatie gasgestookte centrales met gecombineerde cyclus (63% in nominale bedrijfsomstandigheden) en met het gebruik (dat in de huidige klimaatcontext problematisch kan zijn) van grote hoeveelheden water die nodig zijn voor de afvoer van de door de cyclus van de huidige kerncentrales verloren warmte. Het gaat hier weliswaar niet om drinkwater, maar deze afgevoerde warmte draagt bij tot de opwarming van de rivieren en zelfs van het zeewater, met alle schadelijke gevolgen van dien voor het milieu. Kernenergie is immers een van de belangrijkste industriële toepassingen, met een atmosferische verdamping langs de koeltorens, die ongeveer 1 m³/s/GWe bedraagt. Zoals onlangs benadrukt door ENTSO (Europese koepelorganisatie van alle elektriciteitstransportnetbeheerders) en CIRED (*International Conference on Electricity Distribution*), evolueren de elektriciteitsproductie en -distributie bovendien de laatste decennia naar meer gedecentraliseerde opwekkingseenheden. Deze bieden naast slimme netwerken globaal een betere weerstand tegen disruptieve verstoringen zoals gelokaliseerde natuurrampen, cyberaanvallen en technische problemen bij individuele generatoren). De ontwikkeling van nog krachtiger reactoren (1600 MWe: EPR GEN III) heeft bovendien te kampen gehad met grote economische en technologische tegenslagen in Europa (vertraging en kosten van de EPR) en in de VS m.b.t. de AP1000-reactor van GEN III (faillissement van Westinghouse, Chapter 11).

Het gebruik van kernenergie voor vreedzame doeleinden na de Tweede Wereldoorlog (*Atoms for Peace*) is van start gegaan zonder dat er daadwerkelijk rekening is gehouden met al deze kwesties (met name het risico van ongevallen) of met uitstel van de behandeling ervan (afval), terwijl zij van cruciaal belang zijn gebleken voor het verdere gebruik van deze energie.

Op basis van deze reeks elementen **oordeelt de HGR dat vanuit ethisch, milieu- en gezondheidsoogpunt niet kan worden gesteld dat kernsplijtingsenergie, zoals die momenteel wordt gebruikt, aan de beginselen van duurzame ontwikkeling voldoet.**

Meer in het bijzonder oordeelt de HGR dat de last van het afval voor de toekomstige generaties en de risico's van ongevallen met mogelijk catastrofale gevolgen ertoe zouden moeten leiden dat de nucleaire technologie zoals die momenteel wordt gebruikt, van de Europese groene taxonomie wordt uitgesloten.

Benadering van het IPCC

In zijn evaluatierapport over de beperking van de klimaatverandering van 2014 (IPCC, 2014), schat het IPCC dat scenario's die op wereldniveau de doelstelling van ongeveer 450 ppm CO_{2eq} tegen het jaar 2050 halen, worden gekenmerkt door snellere verbeteringen van de energie-efficiëntie en een verdrie- en bijna verviervoudiging van het aandeel koolstofvrije energievoorziening of koolstofarme energie uit hernieuwbare energiebronnen, kernenergie en fossiele energie of bio-energie met CO₂-afvang en -opslag. In het verslag wordt echter ook gewezen op een reeks belemmeringen en risico's in verband met kernenergie: operationele risico's en daarmee samenhangende bezorgdheid, risico's in verband met uraniummijnen, financiële en regelgevingsrisico's, onopgeloste afvalbeheerkwesties, bezorgdheid over de proliferatie van kernwapens en een vijandige publieke opinie. In de technische samenvatting van het rapport wordt benadrukt dat scenario's voor het beperken van de klimaatverandering die de 580 ppm CO_{2eq} niet overschrijden, aantonen dat indien kernenergie uit de portefeuille van beschikbare technologieën zou worden uitgesloten, dit slechts voor een kleine toename van de beperkingskosten in vergelijking met de totale technologieportefeuille zou zorgen.

In zijn evaluatieverslag van 2018 (IPCC, 2018) over de gevolgen van een klimaatverandering die beperkt blijft tot 1,5°C (ten opzichte van het pre-industriële tijdperk), raamt het IPCC dat hernieuwbare energie in 2050 70-85% van de elektriciteit zou moeten leveren. In de meeste scenario's wordt uitgegaan van een toename van het aandeel van kernenergie en fossiele brandstoffen met CO₂-afvang en -opslag (*Carbon Capture and Storage* - CCS).

Volgens het *Global Sustainable Development Report* van 2019 (kader 2-28, United Nations, 2019) wijzen de waargenomen tendensen erop dat het concurrentievermogen van hernieuwbare energie weldra geleidelijk groter zal worden dan dat van kernenergie, onder meer als gevolg van de hogere kosten van veiligheidsmaatregelen. In het verslag wordt ook opgemerkt dat slechts een klein deel van het nucleair ongevallenrisico door verzekeringsmaatschappijen wordt gedekt; de rest komt voor rekening van de staten. Bij wijze van conclusie stellen de auteurs dat de huidige kerncentrales de uitstoot van broeikasgassen hebben verminderd en alleen mogen worden ontmanteld na zorgvuldige planning. Dit om te voorkomen dat ze zouden worden vervangen door nieuwe centrales die fossiele brandstoffen gebruiken. Maar het rapport concludeert ook dat het bouwen van nieuwe kerncentrales steeds moeilijker te rechtvaardigen lijkt, gezien de kosten die daarmee gepaard gaan en de dalende kosten van hernieuwbare energie en energieopslagcapaciteit.

Tot slot heeft het IPCC op 9 augustus 2021 het eerste deel van zijn zesde beoordelingsrapport gepubliceerd (*Assessment Report 6*, "Climate change 2021: the physical science basis" – IPCC, 2021). In dit rapport, waarvan het opstellen in 2017-2018 van start is gegaan, is de meest recente en uitgebreide wetenschappelijke kennis over het klimaatsysteem en de klimaatverandering tot nu toe samengebracht. De belangrijkste conclusies van dit rapport zijn dat de invloed van de mens op het klimaatsysteem nu wetenschappelijk is vastgesteld en dat de opwarming tegen 2050 in alle beschouwde scenario's zal toenemen en in de loop van de

21e eeuw meer dan 1,5°C of zelfs 2°C zal bedragen, tenzij de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen in de komende decennia aanzienlijk wordt verminderd.

3 Energietransitie

Van meet af aan moet duidelijk worden gemaakt dat de energietransitie uiteraard niet beperkt blijft tot de sector van de elektriciteitsproductie maar betrekking heeft op alle energiebronnen en broeikasgassen. In België bedroeg het elektriciteitsverbruik in 2019 bv. maar 22,5% van het totale eindenergieverbruik. De rest kwam hoofdzakelijk voor rekening van de fossiele brandstoffen die in tal van sectoren worden gebruikt (vervoer, verwarming van gebouwen, industrie, enz.). Vervoer alleen al veroorzaakt bijna een kwart van de totale uitstoot van broeikasgassen. Ook de petrochemische industrie en de staalindustrie leveren een belangrijke bijdrage. Landbouwpraktijken en de intensieve veeteelt (gekoppeld aan overmatige vleesconsumptie, zie de voedingsaanbevelingen voor de volwassen bevolking van de HGR (HGR 9284, 2019)), spelen bovendien ook een aanzienlijke rol bij de productie van broeikasgassen (8% van de totale uitstoot).

Uit de evolutie tussen 1990 en 2019 blijkt dat de emissies gemiddeld zijn gedaald, maar dat ze in het vervoer (+24%, ofwel 5Mt CO₂ eq.) en gebouwen in de dienstensector (+33%, ofwel 1,4 Mt CO₂ eq.; vooral door informaticagebruik en airconditioning) zijn gestegen.

Tot slot is de winning van schaliegas wereldwijd ook verantwoordelijk voor de uitstoot van aanzienlijke hoeveelheden methaan.

3.1 Energietransitie, hernieuwbare energie en beschikbaarheid van grondstoffen

Een belangrijk probleem dat in de context van de energietransitie aan de orde is, is de beschikbaarheid van grondstoffen voor hernieuwbare energiebronnen. De grondstoffen zijn nog in ruime mate beschikbaar in de aardkorst, maar de ontginning ervan is geconcentreerd in een klein aantal landen, wat zorgt voor geopolitieke afhankelijkheid. Hetzelfde geldt voor de winning van metalen en de vervaardiging van onderdelen en zelfs afgewerkte producten (fotovoltaïsche panelen, batterijen, enz.), die grotendeels door bepaalde firma's en landen, onder andere China, worden gecontroleerd. Er vallen dan ook in het komende decennium verstoringen van de bevoorradingsketen te vrezen, met een mogelijke of zelfs waarschijnlijke stijging van de metaal- en grondstofprijzen. Er bestaat echter geen consensus over deze voorspelde ongunstige prijstendensen. Er is onderzoek lopende om substitutie en recycling te bevorderen, maar het zal nog verscheidene jaren duren voordat dit op de markt doorbreekt. Mijnbouwprojecten stuiten op vrijwel algemene maatschappelijke weerstand en een gebrek aan financiering. Ten slotte moet de recycleerbaarheid van hernieuwbare technologieën aan het einde van hun levenscyclus nog worden verbeterd. De circulaire economie is van essentieel belang, maar nog niet op voldoende grote schaal en met voldoende vastberadenheid georganiseerd. Er zullen maatregelen moeten worden genomen om de levensduur te verlengen van apparatuur die kritisch is op vlak van benodigde grondstoffen, alsook om het ontwerp van deze apparatuur zodanig te verbeteren dat de recycleerbaarheid ervan verzekerd is.

3.2 Energietransitie en de waterstofsector

De waterstofsector kan een belangrijke rol spelen bij de overgang naar een koolstofarme economie. In deze sector, die nog in ontwikkeling is, wordt echter vóór 2030 geen aanzienlijke vooruitgang verwacht. Voor de productie van "groene" waterstof, die nodig is voor brandstofcellen in voertuigen en voor bepaalde residentiële en industriële toepassingen, zijn immers voldoende hernieuwbare energiebronnen nodig (om de elektriciteit op te wekken die nodig is voor de elektrolyse van water) en onze capaciteiten zullen vóór die datum nog ontoereikend zijn. De voornaamste impact van waterstof zal zich in de eerste plaats op industrievlak situeren. Deze sector kan immers gebruik maken van "blauwe" waterstof die uit aardgas wordt geproduceerd in *Steam Methane Reforming* (SMR) eenheden die zijn geactiveerd om CO₂ op te vangen voor opslag (met permanente vastlegging) en/of later gebruik. De vervoersector (lucht- en scheepvaart, spoor- en zwaar wegvervoer: vrachtwagens) zal naar verwachting pas na 2040 volgen. Binnen 5 à 10 jaar, met de nodige investeringen (met name qua gaspijpleidingen), zou "blauwe" waterstof ook kunnen worden gebruikt in gascentrales die aangepast zijn aan dit gebruik en aan het distributienetwerk (Proost, 2021).

3.3 Opslag van energie en warmte en afstemming van de energievraag op het energieaanbod

Eens de energie grotendeels door hernieuwbare energiebronnen zal worden aangeleverd, zal het absoluut noodzakelijk zijn om flexibiliteit in het netwerk in te bouwen. Dit is een gebied waarin België de komende jaren massaal moet investeren. De enige opties voor de opslag van elektriciteit die haalbaar lijken voor een land als België (met een lage capaciteit aan hydro-elektriciteit met pompcentrales), zijn batterijen van alle soorten en uiteraard waterstof en synthetische brandstoffen voor mobiliteitstoepassingen (zoals luchtverkeer). Deze flexibiliteit moet worden bereikt door vraagzijdebeheer of vraagresponso, transnationale gelijkstroom- of wisselstroomtransfers, flexibele elektriciteitscentrales en opslag van elektriciteit (en warmte). Er zal vraag zijn naar alle soorten elektriciteits- en warmteopslag, gaande van het volledig gedecentraliseerde individuele niveau in huishoudens tot het collectieve niveau voor een district, via de productie van groene waterstof in/uit offshore-windparken die honderden kilometers per pijpleiding worden vervoerd. Al deze oplossingen vergen nog veel werk en, vooral in de komende jaren, een grotere maturiteit voor al deze technologieën. Op de relatief korte termijn zijn er vooral mogelijkheden voor de slimme controle van energiesystemen op het niveau van individuele huishoudens of KMO's. Bij een voldoende groot aandeel elektrische voertuigen (naar verwachting op de middellange termijn, 2025-2030) biedt slim laden en de 'vehicle2grid' technologie een interessante opportuniteit om de autobatterijen ook in te schakelen bij het afstemmen van de energievraag op het aanbod. De zeer lage kosten van fotovoltaïsche technologie en de steeds dalende kosten van offshore windenergie zouden tot de verwezenlijking van deze opties moeten bijdragen. Dat is echter alleen mogelijk als daadwerkelijk gebruik wordt gemaakt van de opslag van elektriciteit en warmte. Daar bestaat echter momenteel nog geen echte markt voor, wat een reële belemmering vormt voor het ontwikkelen van de opslag van elektriciteit (en thermische energie) op de korte termijn.

3.4 Energietransitie en volledige stillegging van kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België

De haalbaarheid en de gevolgen van de stillegging van de kerncentrales in het kader van de huidige energietransitie op Belgisch en Europees niveau voor de opwekking van elektriciteit zijn het voorwerp geweest van talrijke analyses.

De verschillende studies van EnergyVille (*EnergyVille lanceert aanvullende systeemscenario's voor elektriciteitsvoorziening in België in 2030 en 2050*) maakten gebruik van het TIMES-energiemodel (IEA, VITO) en beoogden een technisch-economische optimalisatie, waarbij rekening werd gehouden met de interconnecties met de elektriciteitssystemen van de buurlanden (Nederland, Frankrijk, Duitsland, Verenigd Koninkrijk). Er werd een vergelijking gemaakt tussen de opties totale sluiting van kerncentrales en sluiting met verlenging van 2 recente centrales (2 GWe) voor 10 of 20 jaar en dit op basis van min of meer ambitieuze hypothesen inzake hernieuwbare energie.

De conclusie van deze EnergyVille-studies is dat een volledige stopzetting van kernenergie in 2025 mogelijk is tegen een relatief beperkte impact, zowel wat de kosten (in het scenario waarin 2 reactoren met 10 jaar worden verlengd, zullen de jaarlijkse kosten van het totale elektriciteitssysteem iets lager uitvallen (106 tot 134 miljoen euro per jaar op een totale jaarlijkse kostprijs van het elektriciteitssysteem van 4000 miljoen euro)) als de CO₂-uitstoot betreft en zonder dat dit een invloed heeft op de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen.. De behoefte aan elektriciteitsinvoer neemt toe, maar zou alleen tot bevoorradingsproblemen kunnen leiden in het geval van extreme weersomstandigheden die tegelijkertijd de buurlanden treffen (zoals ook benadrukt door de scenario's van France Stratégie). Er zal hoe dan ook een nood zijn aan nieuwe gascentrales als overgangsoptie, maar het aantal benodigde gascentrales zal wel kleiner zijn indien kernenergie wordt verlengd (in het regeerakkoord beperkt tot een capaciteit van 2 GWe, wat neerkomt op een basiselektriciteitsproductie in België van 20 tot 25 %). Bovendien blijft het modulatievermogen van de twee meest recente reactoren, hoewel groter dan dat van de oude reactoren, aanzienlijk lager dan dat van gascentrales met gecombineerde cyclus, evenals de energie-efficiëntie (35% tegen 63%).

De conclusies van het Federaal Planbureau (Impact van het Pact (2018): Bijkomende cijfers ter staving van een Energiepact) sluiten aan bij die van EnergyVille, namelijk dat het niet verlengen van de 2 kernreactoren na 2025 een negatieve maar beperkte impact heeft op de marginale kost van het energiesysteem en op de CO₂-uitstoot. Het effect op de CO₂-uitstoot wordt bovendien beperkt door de deelname aan het Europese ETS-systeem (*Emissions Trading System* ; emissiehandelssysteem), dat op Europees niveau een bovengrens vaststelt voor de industriële CO₂-uitstoot. In dit verband moet ook worden gewezen op het verhoogde (moeilijk te kwantificeren) risico van verplaatsing van activiteiten buiten Europa (dat zou kunnen worden tegengegaan door het Europese CBAM-project (*Carbon Border Adjustment Mechanism*) dat in de Green Deal wordt beschreven). Een ander risico dat moet worden vermeld, is dat het na 2030 moeilijker kan worden om het ETS-emissieplafond te verlagen.

De twee studies dragen bovendien elementen aan wat het beheer van de pieken in het elektriciteitsverbruik betreft: een grotere flexibiliteit van de gascentrales in vergelijking met de kerncentrales (EnergyVille) en de ontwikkeling van de interconnecties (Federaal Planbureau). De toenemende inzet van hernieuwbare energiebronnen betekent dat de stabiliteit van het elektriciteitsnet steeds meer flexibele vormen van productie, maar ook van verbruik, zal vereisen. Hierdoor zal een snelle aanpassing van de netwerkbeheerstrategie en de snellere

ontwikkeling van de slimme meters nodig zijn. Bovendien zal de instandhouding van de 50 Hz-netfrequentie die momenteel door grote generatoren wordt geleverd, anders moeten worden aangepakt en zullen de nodige investeringen moeten worden gedaan.

De HGR concludeert uit deze studies dat een kernuitstap mogelijk is voor België, tegen een relatief beperkte kostprijs, ook in termen van CO₂-impact. De Raad wenst tevens te benadrukken dat, ongeacht de verlenging of de stillegging van 2 GWe aan kernenergie, de transitie een vastberaden politieke wil op regionaal, Belgisch en Europees niveau zal vergen om zo snel mogelijk voor de nodige technologische en industriële ontwikkelingen te zorgen. Een van de prioriteiten is op tijd te beschikken over gascentrales met gecombineerde cyclus en de overgang te plannen naar blauwe waterstof, waarvoor aanzienlijke CO₂-opvang- en -opslag- of -gebruikscapaciteiten vereist zijn (per ton waterstof wordt 8 ton CO₂ uitgestoten - Proost, 2021). Er zullen ook investeringen nodig zijn op het gebied van energieopslag, netwerkbeheer, de interconnectie, de ontwikkeling van de waterstofsector en de levensduur en recycling van qua grondstoffen kritische consumptiegoederen. De HGR herinnert er ook aan dat het grootste deel van de CO₂-uitstoot niet afkomstig is van de elektriciteitsproductie (amper 14% van het totaal), maar van de verwarming van gebouwen (vooral in de tertiaire sector), het vervoer en het gebruik van fossiele grondstoffen in de zware industrie en de verwerkende industrie en dat in deze sectoren de nodige inspanningen zullen moeten worden geleverd en meer selectieve investeringen worden gedaan.

Wat de modaliteiten van de kernuitstap betreft (onmiddellijke algehele uitstap of geleidelijke uitstap, voor zover de mogelijkheid van een geleidelijke uitstap nog steeds actueel is), concludeert de HGR dat er argumenten zijn voor en tegen de eventuele verlenging van twee kerncentrales na 2025 maar dat er geen markante elementen zijn die een keuze in de ene of de andere richting zouden "opleggen". Elke optie houdt risico's in, die weliswaar van verschillende aard zijn en verschillende implicaties hebben op economisch en ethisch vlak, op het vlak van de energievoorzieningszekerheid, van het leefmilieu en van de volksgezondheid.

In het geval van een volledige kernuitstap in 2025 zijn de voornaamste risico's

- Het niet tijdig kunnen doorvoeren van de belangrijke technologische en industriële ontwikkelingen die nodig zijn om tot een schoon en duurzaam energiesysteem te komen;
- Het toegenomen (maar moeilijk te kwantificeren) risico van verplaatsing van activiteiten buiten Europa (dat echter zou kunnen worden tegengegaan door het in de GreenDeal beschreven Europese CBAM-project (Carbon Border Adjustment Mechanism)) en het risico dat het na 2030 moeilijker wordt om het ETS-emissieplafond te verlagen;
- De geplande aanpassingen aan het net en de interconnecties (met inbegrip van de aanleg van nieuwe onderzeese transmissielijnen);
- Risico's in verband met de beschikbaarheid van grondstoffen voor hernieuwbare energie (geopolitieke afhankelijkheid);
- De prijzen van grondstoffen die nodig zijn voor hernieuwbare energiebronnen;
- Het risico van moeilijkheden bij de invoer van elektriciteit op een ogenblik waarop zich strategische veranderingen dreigen voor te doen in het energiebeleid van de landen die met ons verbonden zijn, met name Frankrijk;

- De mogelijke bevoorradingsproblemen tijdens de winterpiek, indien ook de buurlanden getroffen zijn.

Indien twee kerncentrales eventueel nog 10 of 20 jaar in bedrijf zouden blijven,

- Is het voornaamste risico dat van een kernongeval met potentieel catastrofale gevolgen vanwege de onmiddellijke nabijheid van zeer kwetsbare locaties zoals de regio Antwerpen. Dit risico ligt ten grondslag aan het standpunt van de German Ethics Commission (Ethics Commission for a Safe Energy Supply, 2011);
- Daar komt nog bij dat de hoeveelheid kernafval toeneemt (plus 4%/1000 MWe/10 jaar), terwijl dit een van de grootste problemen van kernenergie vormt in termen van duurzame ontwikkeling en het passief dat uit het afval uit het verleden voortvloeit, nog lang niet weggewerkt is. Het is niet wenselijk om de hoeveelheid afval door een verhoogde productie of door nucleair onderzoek significant te doen toenemen zolang er in Europa geen beproefde geologische bergingsoplossing is.
- Men moet er zich van bewust zijn dat de bovengenoemde risico's met betrekking tot de "volledige" kernuitstap in 2025 hoe dan ook, althans gedeeltelijk, zullen bestaan als gevolg van de sluiting van vijf van de zeven centrales. Ook mag niet worden vergeten dat de grote productie-eenheden kwetsbaarder zijn.
- Er bestaat ook het gevaar dat de aanzienlijke industriële inspanning voor transitie, massale ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen en gedecentraliseerde ontwikkeling van het elektriciteitsnet worden belemmerd of uitgesteld en dat het historische moment wordt gemist waarop deze inspanningen onder de juiste voorwaarden kunnen worden geleverd, zowel in politiek opzicht als in technisch, intellectueel en wetenschappelijk opzicht.
- Tenslotte is er de internationale dimensie van de Belgische beslissing. Gekoppeld aan een onverminderde ambitie om de Europese en internationale klimaatdoelstellingen te respecteren, zou zij een aanmoediging betekenen om op wereldniveau versneld de weg naar hernieuwbare energie op te gaan. Hoewel het vooruitzicht van een klimaatwijziging ernstige gevolgen zal hebben en maatregelen met de hoogste prioriteit vereist, kan de verdere uitbouw van nucleaire energie, onder voorbehoud van belangrijke technologische evoluties, niet als een duurzame oplossing worden beschouwd.

3.5 Implicaties van de kernuitstap

De HGR wijst erop dat na de (onmiddellijke of geleidelijke) stillegging van de kerncentrales de nucleaire veiligheidsrisico's ook in de toekomst zullen blijven bestaan (ca. een eeuw voor de buitenbedrijfstelling gevolgd door het beheer van de buitenbedrijfgestelde nucleaire sites)⁴ en aan de nodige controles en maatregelen moeten worden onderworpen: tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof, installaties voor nucleair onderzoek (SCK CEN), industriële en medische bronnen en de productie daarvan (IRE, BR2, cyclotrons), vervoer van bronnen, ontmanteling van nucleaire installaties. De kwestie van het beheer van het kernafval en de financiering daarvan blijft een zware erfenis. **De HGR beveelt aan op korte termijn een beslissing te nemen over de geologische berging van hoogradioactief afval.** Dit besluit zal worden gevolgd door een 15-jarig selectieproces van de site, zoals voorgesteld door NIRAS (Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen) en rekening houdend met de vereisten van het FANC (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle). Dit laat voldoende tijd om na te gaan of er in de nabije toekomst een oplossing kan worden

⁴ Zie de hoorzittingen van de Subcommissie voor de Nucleaire Veiligheid: Hoorzitting van 1 juni 2021. (<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1793>), 29 juni 2021 (<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1944>) et 6 juli 2021 (<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1971&offset=8889>)).

verwacht die op basis van wederkerigheid met de buurlanden wordt overeengekomen, of zelfs een Europese oplossing.

Zoals hierboven is opgemerkt, is er nog veel aandacht nodig voor de nucleaire noodplannen, zowel voor onze kerncentrales zolang die in bedrijf zijn als voor de risico's van buitenlandse kerncentrales die zich in de nabijheid van onze grenzen bevinden. Ook de risico's van terrorisme en cyberaanvallen zullen blijven bestaan en onze noodplannen moeten daarop berekend zijn.

Een belangrijk probleem waarmee rekening moet worden gehouden, is dus het behoud van voldoende nucleaire deskundigheid, ook door het opleiden van de deskundigen die in de toekomst nodig zullen zijn.

De uitstap uit de kernenergie zal ook gevolgen hebben voor de organisatie van de nucleaire veiligheid en beveiliging. Het FANC wordt grotendeels gefinancierd uit de vergoedingen van de exploitanten van kerncentrales, terwijl de activiteiten van het FANC veel zaken buiten de kerncentrales bestrijken vooral op medisch gebied (kruissubsidiëring). Het moet mogelijk zijn om, althans gedeeltelijk, naar een dotatiesysteem over te gaan. De toekomst van Bel V (publiek-private partnerschap) is onzeker en zal moeten worden opgelost. Ten slotte zou de exclusieve federale bevoegdheid op nucleair vlak ter discussie kunnen worden gesteld. **De HGR pleit daarentegen voor een meer Europees en minder geregionaliseerd beheer van complexe vraagstukken met meervoudige grensoverschrijdende gevolgen.** Complexe technologische projecten zoals het MYRRHA-project dat door België in de eerste fase met steun van de EG op het SCK CEN in Mol wordt ontwikkeld, zitten ook aan de grens van de beoordelings- en risicobeheersingsbevoegdheid van een klein land, wat meer samenwerking op Europees niveau zou vereisen, zoals die in de VS is georganiseerd.. Tot slot zou de vervroegde sluiting, vanaf 1 januari 2025, van de oudste reactoren kunnen worden overwogen overeenkomstig de nietigverklaring door het Grondwettelijk Hof van de rechtsgrondslag voor hun exploitatie na die datum, als gevolg van de uitspraak van het Europees Hof van Justitie dat voor de vergunning van de verlenging een milieueffectbeoordeling vereist. Dit zou geen problemen mogen opleveren omdat er regelmatig een overschot aan kernenergie is, dat zelfs de stopzetting of vermindering van de productie van windenergie noodzakelijk maakt.

3.6 Energietransitie, duurzame ontwikkeling en maatschappelijk model

De wereld begint steeds beter het existentiële gevaar te begrijpen en te erkennen van de klimaatverandering als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen, naast de rampzalige gevolgen voor de gezondheid van de vervuiling die door de meeste fossiele brandstoffen wordt veroorzaakt. Een snelle energietransitie is nodig, samen met alle maatregelen die deze uitstoot kunnen verminderen (landbouw, voeding, strijd tegen ontbossing, enz.).

De HGR zou willen afsluiten door te benadrukken dat de noodzakelijke energietransitie die in Europa (*Green Deal*) en elders aan de gang is, verenigbaar moet blijven met de beginselen van duurzame ontwikkeling en niet mag leiden tot nieuwe onevenwichtigheden en nieuwe risico's, met name voor de meest kwetsbare bevolkingsgroepen in Europa en in de wereld. Er zal aan meerdere (ethische, economische, sociologische, enz.) uitdagingen in termen van beleidsintegratie het

hoofd moeten worden geboden: respect voor het milieu, bescherming van de watervoorraden en waterkwaliteit, aandacht voor de gezondheid van de werknemers en de bevolking in de mijnbouwlanden, hier en elders, circulaire economie (winning, ontwerp, bestrijding van snelle veroudering, recycling), zorg voor billijkheid binnen en tussen de generaties (redelijk beheer van de hulpbronnen waarbij de toegang tot grondstoffen voor toekomstige generaties wordt gewaarborgd), zoals uitgewerkt in het SEPIA-rapport (VUB, 2011).

De HGR is van mening dat dit alleen mogelijk zal zijn

- door, in een geest van kritische moderniteit en billijkheid, te aanvaarden dat het paradigma van onbeperkte groei ter discussie wordt gesteld,
- door op individueel en collectief niveau processen van innovatie in het beheer van het openbaar goed te ontwikkelen,
- en door na te denken
 - o over een nieuw economisch paradigma dat niet gekoppeld is aan consumptie,
 - o alsook over creatieve processen van sociaal billijke en positieve heruitvinding van levensstijlen.

Sleutelwoorden en MeSH descriptor terms⁵

MeSH terms*	Keywords	Sleutelwoorden	Mots clés	Schlüsselwörter
Safety and Precaution	Nuclear safety	Nucleaire veiligheid	Sûreté nucléaire	nukleare Sicherheit
	Nuclear security	Nucleaire beveiliging	Sécurité nucléaire	Nukleare Sicherung
	Nuclear risk	Nucleair risico	Risque nucléaire	nukleares Risiko
Health Risk Assessment	Sustainable development	Duurzame ontwikkeling	Développement durable	nachhaltige Entwicklung
Sustainable development	Energy transition	Energietransitie	Transition énergétique	Energiewende
	Radioactive waste	Radioactief afval	Déchets radioactifs	radioaktiver Abfall
Radioactive waste	radiation-induced health effects	Gezondheidseffecten door straling	Effets sanitaires radio-induits	strahleninduzierte gesundheitliche Auswirkungen
Radiation-induced health effects	nuclear emergency plans	Nucleaire noodplannen	Plans d'urgence nucléaires	nuklearen Notfallschutzpläne

MeSH (Medical Subject Headings) is the NLM (National Library of Medicine) controlled vocabulary thesaurus used for indexing articles for PubMed <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>.

⁵ De Raad wenst te verduidelijken dat de MeSH-termen en sleutelwoorden worden gebruikt voor referentiedoeleinden en een snelle definitie van de scope van het advies. Voor nadere inlichtingen kunt u het hoofdstuk "methodologie" raadplegen.

INHOUDSTAFEL

HIGHLIGHTS.....	1
I INLEIDING: ACHTERGROND EN DOELSTELLINGEN.....	6
II SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	7
1 NUCLEAIRE RISICO'S EN BELGISCHE KWETSBAARHEDEN	7
1.1 Nucleaire veiligheid	7
1.2 Radioactief afval.....	8
1.3 Risico's verbonden aan militair gebruik.....	11
1.4 Risico's verbonden aan terrorisme	12
1.5 Risico's voor gezondheid en milieu.....	13
1.6 Nucleaire noodplannen.....	15
1.7 Lessen uit de COVID-19-crisis	15
2 KERNENERGIE EN DUURZAME ONTWIKKELING.....	16
Benadering van het IPCC	18
3 ENERGIETRANSITIE	19
3.1 Energietransitie, hernieuwbare energie en beschikbaarheid van grondstoffen ..	19
3.2 Energietransitie en de waterstofsector.....	20
3.3 Opslag van energie en warmte en afstemming van de energievraag op het energieaanbod	20
3.4 Energietransitie en volledige stillegging van kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België	21
3.5 Implicaties van de kernuitstap	23
3.6 Energietransitie, duurzame ontwikkeling en maatschappelijk model.....	24
III METHODOLOGIE.....	34
IV UITWERKING EN ARGUMENTATIE	34
1 NUCLEAIRE RISICO'S EN BELGISCHE KWETSBAARHEDEN	34
1.1 Nucleaire veiligheid	34
1.2 Nucleair afval	36
1.2.1 Stand van zaken in België.....	36
1.2.2 Discussie en ethische aspecten	45
1.3 Risico's verbonden aan militair gebruik.....	48
1.4 Risico's verbonden aan terrorisme	50
1.5 Risico's voor de gezondheid en het milieu : stand van zaken, nieuwe gegevens en onzekerheden	53
1.5.1 Ethische en epistemologische kwesties	53
1.5.2 Door straling veroorzaakte kankers.....	55
1.5.3 Door straling veroorzaakte erfelijke effecten	57
1.5.4 Risico's van in utero bestraling.....	58
1.5.5 Recente ontwikkelingen: nieuwe mechanismen die stralingsgeïnduceerde effecten teweegbrengen	58
1.5.6 Conclusie.....	62
1.6 Nucleaire noodplannen.....	62
1.7 Lessen uit de Covid-19 crisis.....	64
2 KERNENERGIE EN DUURZAME ONTWIKKELING.....	66

2.1	Historische ontwikkeling van de nucleaire industrie en duurzame ontwikkeling: de (bijgewerkte) SEPIA-studie	66
2.1.1	De kern van een belangrijke pathway: de keuze van de PWR voor de elektriciteitsopwekking.....	68
2.1.2	Overzicht van de resultaten van de 'clustered pathway'-analyse van nucleaire ontwikkelingen in termen van duurzaamheid	70
2.1.3	Antwoorden op onderzoeksvragen.....	71
2.1.4	Conclusie en bijwerking	71
2.2	Kernenergie, klimaatverandering en wereldwijde duurzame ontwikkeling: benadering van het IPCC.....	72
2.3	Ethiek, ecologie en voorzorg: bijdrage aan een ethische analyse van de kerntechnologie.....	73
2.3.1	Ethiek en samenleving	73
2.3.2	Verhoudingen mens-natuur-technologie	75
2.3.3	Verantwoordelijkheid, voorzorg, toekomstige generaties	78
2.3.4	Conclusies	80
2.4	Kernenergie en duurzame ontwikkeling in het licht van de beginselen van de Verklaring van Rio.....	83
2.5	Conclusies.....	86
3	ENERGIETRANSITIE	88
3.1	Energietransitie, hernieuwbare energie en beschikbaarheid van grondstoffen ..	88
3.2	Energietransitie en de waterstofsector.....	89
3.3	Energietransitie en stillegging van de kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België 94	
3.3.1	EnergyVille-studies	94
3.3.2	Studies van het Federaal Planbureau	97
3.3.3	Stabiliteit van het elektriciteitsnet	101
3.3.4	Modaliteiten van de stillegging van kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België 103	
3.3.5	Conclusies	107
3.4	Gevolgen van de uitstap uit de kernenergie (in 2025 of later) en gevolgen voor de organisatie van de nucleaire veiligheid.....	107
3.4.1	Milieueffectbeoordeling	107
3.4.2	Nucleaire risico's na de sluiting van de Belgische kerncentrales	108
3.4.3	Fundamentele kenmerken van nucleaire veiligheid: gevolgen van de kernuitstap.....	109
3.4.4	Financiering van de veiligheidsautoriteiten.....	110
3.4.5	Ontmanteling en kernafval	112
3.4.6	Conclusies	114
3.5	Energietransitie, duurzame ontwikkeling en maatschappelijk model.....	115
V	REFERENTIES.....	116
VI	SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP	133
VII	ANNEX I- ENKELE VERSCHILLEN OP HET GEBIED VAN DE VEILIGHEIDSVORZIENINGEN TUSSEN DE BELGISCHE EN FRANSE CENTRALES	135
1.1	Betrokken centrales.....	135
1.2	Vermogen van de kerncentrales.....	135
1.3	Locatie van de kerncentrales die van belang zijn voor België	135
1.4	Veiligheidsvoorzieningen	136

1.5	Vereisten van de ASN voor de verlenging van de levensduur van de centrales in vergelijking met de Belgische vereisten (besluit van 23 februari 2021).....	138
1.6	Noodplannen	139

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

Lijst van afkortingen

ADS	<i>Accelerator Driven System</i> , Subkritische reactor die door een versneller wordt aangedreven
ARAB	Algemeen Reglement op de Arbeidsbescherming
ASN	<i>Autorité de sûreté nucléaire</i> , Franse autoriteit voor nucleaire veiligheid
ASTRID	<i>Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration</i> , Geavanceerde op natriumtechnologie gebaseerde reactor voor industriële demonstratie
BBP	Bruto Binnenlands Product
BEIR	Comité voor de beoordeling van gezondheidsrisico's door blootstelling aan lage niveaus van ioniserende straling
BES	<i>Battery Energy Storage</i>
CBAM	<i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i>
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> , Koolstofafvang en -opslag
CEREBRAD	<i>Cognitive and Cerebrovascular Effects Induced by Low Dose Ionizing Radiation</i> , Cognitieve en cerebrovasculaire effecten van lage-dosis ioniserende straling
CIRED	<i>International Conference on Electricity Distribution</i>
CNV	Commissie voor nucleaire voorzieningen
CO ₂ eq	CO ₂ -equivalent
COMEST	<i>World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology</i> , Wereldcommissie voor de ethiek van wetenschappelijke kennis en technologie
Cs	Cesium
DDREF	<i>Dose and Dose Rate Effectiveness Factor</i> , Dosis- en dosiseffectfactor
DoD	<i>Department of Defense</i> , Amerikaans ministerie van Defensie
DoE	<i>Department of Energy</i> , Amerikaans ministerie van Energie
DR	<i>Demand response</i>
DSM	<i>Demand Side Management</i>
EB	<i>Evidence-Based approach</i> , Empirisch onderbouwde benadering
EBA	<i>European Battery Alliance</i> , Europese alliantie voor batterijen
EC	Europese Commissie

EIA	<i>Environmental impact assessments</i>
EIP	Europees innovatiepartnerschap
ENTSO-E	<i>European association for the cooperation of transmission system operators (TSOs) for electricity</i> , Europees netwerk van transmissiesysteembeheerders voor elektriciteit
EPR	<i>European Pressurized Reactor</i> , Europese drukreactor
ERMA	<i>European Raw Materials Alliance</i> , Europese grondstoffenalliantie
EROEI	<i>Energy Returned on Energy Invested</i> , Rendement op geïnvesteerde energie
ETS	<i>Emissions Trading System</i> , Emissiehandelssysteem
ETSAP	<i>Energy Technology Systems Analysis Program</i> , Programma voor de analyse van energietechnologiesystemen
EU	Europese Unie
EURATOM	Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
FBR	<i>Fast Breeder Reactor</i> , Snelle kweekreactor
Febeliec	<i>Federation of Belgian Industrial Energy Consumers</i> , Federatie van Belgische industriële energieverbruikers
FOD	Federale Overheidsdienst
FPB	Federaal Planbureau
FRDD	Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling
Gen	Generatie reactoren
GW	Giga-watt
GWe	Elektrische gigawatt
H2	Waterstof
HERCA	<i>Heads of Radiation Protection Authorities</i> , Hoofden van stralingsbeschermingsautoriteiten
HGR	Hoge Gezondheidsraad
HTR	<i>High Temperature Reactors</i> , Hogetemperatuurreactoren
HWR	Hogedrukwaterreactor
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> , Internationale Organisatie voor Atoomenergie
IBC	<i>International Bioethics Committee</i> , internationaal comité voor bioethiek
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i> , Internationale commissie voor stralingsbescherming

IEW	<i>Inter - Environnement– Wallonie</i>
IGCB	<i>Intergovernmental Bioethics Committee</i> , Intergouvernementeel comité voor bioethiek
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> , Intergouvernementele werkgroep inzake klimaatverandering
IQ	Intelligentiequotiënt
IRE	Nationaal Instituut voor Radio-elementen
LFP	Lithium-ijzer-fosfaat
Li	Lithium
LNT	<i>Linear No Threshold-model</i>
LTO	<i>Long Term Operation</i> , Langetermijnwerking
LZD	Lineair zonder drempel
MEB	Milieueffectbeoordeling
MELODI	<i>Multidisciplinary European Low Dose Initiative</i>
MOx	<i>Mixed oxides</i> , Gemengd-oxide brandstof
MSR	<i>Molten salt reactor</i> , Gesmoltenzoutreactor
mSv	Millisievert
MYRRHA	<i>Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications</i> , Multifunctionele hybride onderzoeksreactor voor hoogtechnologische toepassingen
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NIRAS	Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen
NPV	Verdrag inzake de non-proliferatie van kernwapens
NTI	<i>Nuclear Threat Initiative</i>
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
PBDE	Polybroomdifenylethers
PHS	<i>Pumped Hydroelectric Storage</i> , Gepompte hydro-elektrische opslag
PLEx	<i>Plant Lifetime Extension</i> , Levensduurverlenging van kerncentralesplanten
ppm	<i>Part per million</i> , Deeltje per miljoen
PPP	Publiek-privaat partnerschap
Pu	Plutonium
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i> , Hogedrukwaterreactor
Ra	Radium
RE/ER	<i>Renewable energyElectricity</i> , Hernieuwbare energie elektriciteit

REF	Referentiescenario (Pact-studie van 2018)
RIHSS	<i>Research Implications on the Health and Safety Standards</i> , Onderzoeksimplicaties op de gezondheids- en veiligheidsnormen
SCK CEN	Studiecentrum voor kernenergie - <i>Centre d'étude de l'énergie nucléaire</i>
SDS	<i>Sustainable Development Scenario</i> , Duurzameontwikkelingsscenario
SEPIA	<i>Sustainable Energy Policy Integrated Assessment</i> , Geïntegreerde beoordeling van het duurzame-energiebeleid
SLO	<i>Social License to Operate</i> , Maatschappelijk draagvlak
SMR	<i>Small Modular Reactors</i> , Kleine modulaire reactoren
SMR	<i>Steam-Methane Reforming</i> , Omzetting van methaan met stoom
Sr	Strontium
tHM	<i>Tonnes of heavy metal</i> , Ton zware metalen
U	Uranium
UNESCO	<i>United Nations Education Science and Culture Organization</i> , Organisatie van de Verenigde Naties voor Onderwijs, Wetenschap en Cultuur
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i> , wetenschappelijke commissie van de Verenigde Naties inzake de gevolgen van aatomstraling
UOx	Uraniumoxide
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
WENRA	<i>Western European Nuclear Regulators Association</i> , Vereniging van West- Europese regelgevers op nucleair gebied

III METHODOLOGIE

Na analyse van de vraag hebben het College en de voorzitter van het domein Ioniserende Straling de nodige expertises bepaald. Op basis hiervan werd een *ad-hoc* werkgroep opgericht met deskundigen in de disciplines die aan het einde van het advies zijn opgesomd (Punt VI – Samenstelling van de werkgroep). De experts van de werkgroep hebben een algemene belangenverklaring en een *ad-hoc* verklaring ingevuld en de Commissie voor Deontologie heeft het potentieel risico op belangenconflicten beoordeeld.

Het advies berust op een overzicht van de wetenschappelijke literatuur, zowel uit wetenschappelijke tijdschriften als uit rapporten van nationale en internationale organisaties die in deze materie bevoegd zijn (*peer-reviewed*), alsook op het oordeel en de constructieve gedachtewisseling van een multidisciplinaire groep van experts, waarvan de expertise zich uitstrekt van nucleaire veiligheid tot duurzame ontwikkeling, met inbegrip van stralingsbescherming, beheer van nucleair afval, nucleaire beveiliging, noodplannen en crisisbeheer, regelgeving, gezondheidseffecten, radiobiologie, toxicologie en carcinogenese, geologie; hernieuwbare energie, energieopslag, ethiek en klimatologie.

Na goedkeuring van het advies door de werkgroep, werd het advies ten slotte gevalideerd door het College.

IV UITWERKING EN ARGUMENTATIE

1 Nucleaire risico's en Belgische kwetsbaarheden

1.1 Nucleaire veiligheid

Sinds het ongeval in Fukushima wordt algemeen aanvaard dat een ernstig nucleair ongeval waar ook ter wereld, ook in Europa, niet volledig kan worden uitgesloten, ondanks het hoge veiligheidsniveau van de meeste Europese kerncentrales en de verbeteringen die zijn aangebracht naar aanleiding van de lessen die zijn getrokken uit incidenten en ongevallen in het verleden. Dit is expliciet erkend in een gezamenlijk rapport (HERCA - WENRA, 2014) van de verenigingen HERCA (*Heads of Radiation Protection Authorities*, de Europese stralingsbeschermingsautoriteiten) en WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*, West-Europese veiligheidsautoriteiten). Zoals is gebleken uit de ongevallen van Tsjernobyl en Fukushima, strekken de gevolgen van dergelijke ongevallen zich uit tot ver van de plaats van het ongeval en zijn zij van lange duur (ze kunnen verscheidene generaties treffen). De gevolgen voor de gezondheid van de bevolking waren bij het ongeval van Fukushima veel minder ernstig dan bij het ongeval van Tsjernobyl. Het betrof weliswaar een veiliger type van kernreactor dan die van Tsjernobyl, maar minder gunstige weersomstandigheden zouden veel ernstigere gevolgen gehad kunnen hebben, aangezien het grootste deel van de radioactieve wolk naar de oceaan is gestuwd. De twee recentste Belgische kernreactoren (Doel 4 en Tihange 3), die in geval van moeilijkheden met de energievoorziening door de overheid in aanmerking worden genomen voor een eventuele verlenging van de activiteit met 10 jaar, hebben een hoog veiligheidsniveau en zijn voor meerdere aspecten (bv. containment) veiliger dan de naburige centrales (Gravelines, Chooz, Borsele).

Zo hebben de 6 eenheden van Gravelines slechts een enkel containment met één stalen liner, terwijl de eenheden van Doel 4 en Tihange 3 een dubbelwandig containment hebben met een

roestvrijstalen liner. Bovendien is het secundaire containment veel dikker dan bij de Franse reactoren. De Franse autoriteit voor nucleaire veiligheid (ASN) heeft dit jaar (besluit van 23 februari 2021) een aantal eisen geformuleerd om de Franse eenheden, waaronder die van Gravelines, langer dan 40 jaar in bedrijf te kunnen houden. Het blijkt dat de huidige Belgische centrales voor bepaalde aspecten al lang aan deze vereisten voldoen. Een grondige analyse van de verschillen in veiligheidsregelingen tussen de Belgische en de Franse centrales is opgenomen als bijlage (bijlage I).

Het risico van een nucleair ongeval in Gravelines (de krachtigste kernsite in de Europese Unie (EU), 6 GWe, met 4 op 6 reactoren ouder dan 40 jaar en 2 van 37 jaar (CEA, 2018) vormt een bijzonder probleem voor België gezien de dominante windrichting (gericht op de Belgische kust), de seizoensgebonden dichtheid van de betrokken bevolking en de moeilijkheden om deze te evacueren. Er is ook een risico van verontreiniging van het grondwater en het zeewater. Weet dat Frankrijk van plan is om rond 2035 in Gravelines een EPR (*European Pressurized Reactor*, een reactor van het type III ("derde generatie")) te bouwen. De risico's van Gravelines worden echter gedeeltelijk getemperd door de afstand, aangezien de hoogste doses en dus de grootste kans dat bij een ernstig ongeval een min of meer langdurige evacuatie nodig is, zich voornamelijk (maar niet uitsluitend, zoals het ongeval in Fukushima heeft aangetoond) in Frankrijk bevinden. Onze meest recente centrales hebben weliswaar een hoog veiligheidsniveau, maar toch zijn ze niet onfeilbaar. Zo werd in het ontwerpstadium geen rekening gehouden met een aantal zogenaamde "*beyond design basis accidents*" (bv. meltdown van de kern of scheur in het reactorvat, cf. NEA 2016) overeenkomstig de destijds geldende regelgeving. Belangrijke voorzieningen zoals *core catchers* (bedoeld om de kern op te vangen in geval van een meltdown) werden dus niet in het ontwerpstadium voor onze centrales voorzien (IRSN, 2008). Deze voorzieningen kunnen niet achteraf worden geïnstalleerd of volledig worden aangevuld. In het kader van tienjaarlijkse herzieningen of de verlenging zou een eventuele verdikking van de funderingsplaten, zoals momenteel gevraagd door het ASN in Frankrijk (ASN, 2021), kunnen worden overwogen. Bovendien zijn de externe gebeurtenissen waartegen de kerncentrales beschermd zijn, in hoofdzaak accidentele gebeurtenissen van civiele oorsprong die op dat moment werden geïdentificeerd (neerstortende vliegtuigen, explosie van een schip of een gasexplosie). Deze centrales zijn echter mogelijke doelwitten voor kwaadwillige handelingen (terrorisme, raketten, sabotage, cyberaanvallen), ook al moet worden erkend dat er heel wat voorzorgsmaatregelen zijn genomen om die te voorkomen, ook voor cyberaanvallen in Belgische centrales ⁶. In dit verband moeten de gebeurtenissen in Doel 4 van 2014 in herinnering worden gebracht. Op VN-niveau is een initiatief inzake cyberveiligheid genomen om de kwetsbaarheid van kritische infrastructuur te verminderen.

Het risico van een ernstig nucleair ongeval kan dus niet worden uitgesloten en België is in dit opzicht bijzonder kwetsbaar wegens de kenmerken van de betrokken locaties: dicht bij grote steden en internationale verkeersaders, verzadigd weggennet en hoge bevolkingsdichtheden. De site van Doel heeft bijvoorbeeld de hoogste bevolkingsdichtheid van Europa over een afstand van 100 tot 200 km, met geografische evacuatiemoeilijkheden, Seveso-industrieën in de nabijheid en recent toegenomen transporten van tankers met schaliegas (Antwerpen). De potentiële gevolgen zijn aanzienlijk, zowel wat de gezondheid van de kwetsbare bevolkingsgroepen als de economische schade en de schade voor het internationale zee-, weg- en spoorvervoer (vooral in het geval van de Regio Antwerpen) betreft. Dat doet de vraag rijzen of een dergelijke situatie voor ons land beheersbaar en economisch overkomelijk zou

⁶ Opmerkelijk is dat België volgens de nieuwe rapport van het NTI (*Nuclear Threat Initiative*) Nuclear Security Index (<https://www.ntiindex.org/country/belgium/>) niet goed scoort op het gebied van nucleaire cyberveiligheid (50/100).

zijn (in termen van bruto binnenlands product (BBP) (HGR, 2016; IRSN, 2013). Daarnaast is er het moeilijk te beheren probleem van de grote hoeveelheden vast en vloeibaar afval ten gevolge het kernongeval, zoals na het ongeval in Fukushima (HGR, 2016). Het is vooral de mogelijkheid van een ernstig ongeval die de grondslag vormde voor de beslissing van Duitsland om uit de kernenergie te stappen (*Ethics Commission for a Safe Energy Supply*, 2011). De HGR is van mening dat, gezien de bijzondere kwetsbaarheid van de Belgische sites, de voortzetting van dit risico gedurende nog eens 10 of 20 jaar milieu-, gezondheids- en ethische vragen oproept.

1.2 Nucleair afval

1.2.1 *Stand van zaken in België*

Radioactief afval bevat radioactieve stoffen die, gezien hun aard en concentratie, bij het beheer ervan specifieke beschermingsmaatregelen tegen ioniserende straling vereisen. Het beheer van dit radioactieve afval omvat een reeks opeenvolgende fasen die erop gericht zijn het afval in een vorm te gieten die voldoet aan de eisen voor beheer op lange termijn. Deze stadia worden gekenmerkt door een hoge mate van onderlinge afhankelijkheid, hetgeen een holistische visie op afvalbeheer vereist die al deze stadia omvat, van productie tot definitieve verwijdering ("from cradle to grave").

Tijdens het beheer ondergaat het afval fysische en chemische transformaties die volledig moeten worden gedocumenteerd om de exacte samenstelling van het afval te kennen wanneer het wordt opgeslagen. Het beginsel dat de vervuiler betaalt, legt alle beheerskosten bij de afvalproducent. Zo moet de fysieke afvalstroom in alle stadia van het beheer vergezeld gaan van een stroom van kennis en documenten en moet de verantwoordelijkheid voor het beheer worden overgedragen met de verplichtingen en financiële middelen om deze te dekken.

De definitieve vorm die het afval moet aannemen, wordt de facto opgelegd door de definitieve verwijderingsmethode. Het is daarom van essentieel belang dat deze wijze van opslag zo vroeg mogelijk bekend is, idealiter voordat het afval wordt geproduceerd. Dit resulteert in het opleggen van specificaties waaraan het afval moet voldoen om in definitieve opslag te worden aanvaard.

Als de eindbestemming niet bekend is, kunnen afvalstromen ontstaan die niet voldoen aan de eisen van de opslagspecificaties, met nalevingsproblemen of zelfs herverpakking als gevolg.

A. Het regelgevend kader

Vandaag is het beheer van radioactief afval zeer goed geregeld op alle niveaus: internationaal (IAEA - Internationaal Agentschap voor Atoomenergie), Europees (EURATOM - Europese Gemeenschap voor Atoomenergie) en nationaal.

De belangrijkste supranationale instrumenten met betrekking tot afval zijn het "Gezamenlijk Verdrag inzake de Veiligheid van het Beheer van Radioactief Afval en Bestraalde Splijtstof"

(IAEA, 1997), dat door België in 2002 is geratificeerd, en Richtlijn 2011/70/EURATOM van de Raad "tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval", die in 2014 in Belgisch recht is omgezet (wet van 3 juni 2014).

Deze wetgevingsinstrumenten onderstrepen de verantwoordelijkheid op het hoogste niveau van de staten voor het beheer van radioactief afval. In het bijzonder schrijft de richtlijn voor dat de staten:

- Nationale beleidsmaatregelen treffen voor alle beheerstadia
- Een nationaal programma voor de uitvoering van het beleid opstellen
- Passieve langetermijnbeheeroplossingen implementeren, d.w.z. die geen menselijke tussenkomst vereisen.

De richtlijn benadrukt ook de onderlinge afhankelijkheid van alle beheerstappen.

De Commissie heeft een inbreukprocedure ingeleid tegen België omdat ons land nog geen nationaal beleid voor B- en C-afval heeft vastgesteld.

Op nationaal niveau beschikt België over de nodige wetten en uitvoeringsbesluiten om het beheer van afvalstoffen te verzekeren (wet van 8 augustus 1980 tot oprichting van de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen - NIRAS; 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). De veiligheidsaspecten vallen momenteel onder het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (wet van 15 april 1994), dat in 2001 volledig operationeel is geworden.

De wet "betreffende de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestaand in deze kerncentrales" van 2003 (Koninkrijk België, 2003) regelt met name de dekking van de kosten voor de ontmanteling van kerncentrales en het beheer van verbruikte splijtstof.

B. De afvalcategorieën

Afval met een korte halveringstijd heeft een radioactieve vervalperiode (die bepaalt hoelang een stof radioactief blijft) van minder dan 30 jaar (bv. Cs 137, Sr 90); afval met een lange halfwaardetijd heeft een periode van meer dan 30 jaar (bv. Pu 239, Ra 226, U 238).

De categorie wordt vervolgens bepaald door de hoeveelheid radioactieve elementen in het afval.

- Laagactief afval, categorie A, bevat kleine hoeveelheden elementen met een korte halveringstijd (halveringstijd minder dan 30 jaar); het kan zeer beperkte hoeveelheden elementen met een lange halveringstijd bevatten.
- Middellactief afval, categorie B, bevat aanzienlijke hoeveelheden elementen met een lange halveringstijd.

- Hoogactief afval bevat grote hoeveelheden van zowel elementen met een korte halveringstijd als elementen met een lange halveringstijd; het geeft gedeeltelijk warmte af als gevolg van de intensiteit van het radioactief verval.

C. De in België te beheren hoeveelheden

België heeft op zijn grondgebied talrijke nucleaire activiteiten ontplooid. Deze activiteiten begonnen in het begin van de jaren 1920 met de raffinage van radium door Union Minière in Olen.

Na de Tweede Wereldoorlog is België resoluut het nucleaire tijdperk binnengetreden door de oprichting van het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK CEN) in Mol en door onderdak te bieden aan de internationale pilootfabriek voor de opwerking van verbruikte splijtstof EUROCHEMIC in Dessel. In Dessel waren ook splijtstofcycluscentrales (voor de productie van UOx (*uraniumoxide*) en MOx (*gemengde oxiden U en Pu*)) in bedrijf. De productie van isotopen voor medisch gebruik werd ontwikkeld door het IRE in Fleurus.

In Doel en Tihange werden zeven elektriciteitsproductie-eenheden gebouwd en tussen 1974 en 1985 in bedrijf gesteld, die meer dan 50% van de elektriciteitsproductie van het land voor hun rekening nemen.

In tal van andere laboratoria en installaties in het hele land worden al dan niet ingekapselde radioactieve stoffen gebruikt.

Een vijfjaarlijkse inventaris van alle geproduceerde afvalstoffen wordt door NIRAS opgemaakt in toepassing van de wet van 12 december 1997 (Koninkrijk België, 1997). Deze inventaris heeft ook betrekking op het bestaan en de beschikbaarheid van fondsen voor het beheer op lange termijn van het afval.

Hoewel België meerdere nucleaire activiteiten heeft ontwikkeld, zijn de hoeveelheden te beheren afval beperkt.

Het huidige nucleaire programma (~5.500 tHM of *'Tonnes of heavy metal'*) vertegenwoordigt:

- ~55.000 m³ categorie A
- ~11.000 m³ categorie B
- 250 m³ categorie C verglaasd

Bovendien ligt in Doel en Tihange 3.800 tHM verbruikte splijtstof (8.500 assemblages) opgeslagen in afwachting van de vaststelling van een nationaal beleid. Deze situatie bestaat sinds 1993, toen een moratorium op de opwerking van splijtstoffen werd ingesteld.

De verlenging met 10 jaar van een schijf van 1000 MWe zou overeenstemmen met de productie van 221 tHM extra verbruikte splijtstof, d.w.z. +/- 4% van de hoeveelheden die tegen 2025 reeds geproduceerd zijn en nog geproduceerd zullen worden. De Commissie heeft naar aanleiding van dit verzuim ook een inbreukprocedure ingeleid.

Er zij ook op gewezen dat meer dan 50% van het categorie A-afval afkomstig is (reeds ontmantelde stoomgeneratoren) of zal zijn van de ontmanteling van kerncentrales en dus onafhankelijk is van de exploitatieduur van de centrales.

Ongeacht de afvalcategorie verandert de verlenging van de exploitatie van twee kerncentrales niets wezenlijks aan het vereiste afvalbeheer.

D. Geschiedenis van de productie en het beheer van radioactief afval

In België wordt al sinds de jaren 1920 radioactief afval geproduceerd.

Union Minière raffineerde radium op de site van Olen vanaf 1922 en vanaf 1959 werd er ook uranium geproduceerd. Deze producties stopten in de jaren 1970.

In de jaren 1950 werd in Mol het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK CEN) ontwikkeld en werd in Dessel onder auspiciën van de OESO de pilootfabriek EUROCHEMIC gebouwd voor de opwerking van verbruikte splijtstof.

In die tijd bestond er geen specifieke wetgeving met betrekking tot nucleaire activiteiten die bijgevolg begonnen binnen een kader dat werd geregeld door de toen geldende wetgeving, hoofdzakelijk het Algemeen Reglement op de Arbeidsbescherming (oud ARAB; Koninkrijk België, 1946 en 1947). Er was ook geen specifieke wetgeving voor radioactief afval, waarvan het beheer op lange termijn noch technisch, noch financieel was voorzien. Dit leidde tot de historische situatie van de site van Olen en de nucleaire passiva van het SCK CEN, het IRE en EUROCHEMIC.

In 1958 heeft België een wet aangenomen in verband met de bescherming van de bevolking en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende straling; deze wet is in 1963 bij Koninklijk Besluit in voege getreden (KB van 28 februari 1963).

De Belgische kerncentrales in Doel en Tihange, de splijtstofcycluscentrales in Dessel en het Instituut voor Radio-elementen in Fleurus werden gebouwd en vergund binnen dit regelgevingskader, dat geen specifieke bepalingen bevatte voor het afvalbeheer op lange termijn.

Een specifiek kader voor het afval werd ingesteld door de oprichting van NIRAS in 1980, dat in 1982 operationeel werd en sindsdien, vooral sinds 1990, na de overdracht van de afvalinstallaties van het SCK-CEN en Eurochemic, heeft gewerkt aan de ontwikkeling van het geïntegreerd afvalbeheer dat vandaag bestaat.

De wet van december 1997 betreffende de inventaris van de nucleaire passiva maakt het voortaan mogelijk de evolutie van de afvalproductie te volgen, een inventaris op te stellen en na te gaan of de kosten van ontmanteling en langetermijnbeheer naar behoren gedekt zijn (bestaan, toereikendheid en beschikbaarheid van voorzieningen).

E. Het beheer op lange termijn

Het langetermijnbeheer van radioactief afval heeft tot doel het afval te isoleren en in te sluiten zolang het vanuit het oogpunt van stralingsbescherming een significant gevaar vormt. De huidige generatie heeft de plicht te zorgen voor de middelen om deze bescherming te waarborgen, ongeacht mogelijke veranderingen in de samenleving; dit houdt in dat rekening moet worden gehouden met de mogelijkheid dat er geen controle is over de installaties en

leidt tot de noodzaak installaties te ontwerpen die veilig kunnen functioneren zonder menselijk ingrijpen: dit is het concept van passieve veiligheid. Dit concept impliceert geenszins dat men geen toezicht op de installaties wenst te houden, maar voorziet in de mogelijkheid dat dit toezicht om welke reden dan ook kan worden stopgezet.

Het ontwerp van de installaties is zowel gemaakt voor een normale evolutie zonder grote verstoringen als voor versturende scenario's of gebeurtenissen.

a) Categorie A-afval

In België heeft de regering in 1998 besloten dat laag- en middelactief kortlevend afval (categorie A-afval) zal worden beheerd in een definitieve bovengrondse of diepe bergingsfaciliteit op een bestaande nucleaire site of in een bestaande nucleaire zone. De geïmplementeerde oplossing moest ook flexibel en omkeerbaar zijn en in overleg met de plaatselijke bevolking worden ontwikkeld.

De isolatie en insluiting in een bovengrondse installatie is verenigbaar met de tijd gedurende welke het afval een gevaar vormt voor mens en milieu, d.w.z. ongeveer 300 jaar. Men is het er namelijk over eens dat een toezicht voor deze periode realistisch is in het licht van de historische ervaring. Het is duidelijk dat na 300 jaar moet worden uitgegaan van het staken van het toezicht; dit leidt tot een strikte beperking van de concentratie van langlevende radio-elementen voor het afval dat in dit soort installaties is opgeslagen.

In 2006 werd, na lang overleg met de gemeenten Dessel, Mol en Fleurus-Farciennes, beslist om het afval op te slaan in een bovengrondse installatie op het grondgebied van de gemeente Dessel, terwijl het overleg met de gemeenten Dessel en Mol werd voortgezet. De twee laatstgenoemde gemeenten waren voorstander van het project, terwijl de gemeente Fleurus het afwees.

In 2013 werd de aanvraag voor een bouw- en exploitatievergunning ingediend bij het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC). Deze procedure zou in de nabije toekomst moeten worden afgerond, aangezien de wetenschappelijke raad van het agentschap een eerste positief advies heeft uitgebracht.

Het langetermijnbeheer van categorie A-afval is dus goed op weg om geconcretiseerd te worden.

De parlementaire hoorzittingen van 1 en 29 juni en van 6 juli 2021 hebben aangetoond dat er vooruitgang moet worden geboekt met dit bergingsproject met het oog op de programmering van de ontmantelingswerkzaamheden in Doel en Tihange na 2025 ⁷.

b) Het afval van de categorieën B & C

Dit afval blijft gedurende zeer lange tijd gevaarlijk en is niet geschikt voor bovengronds beheer. Daarom moet het voor zeer lange perioden uit de toegankelijke biosfeer worden verwijderd en gedurende deze perioden in een stabiele omgeving worden geplaatst. De beheersoplossing waarover in de wetenschappelijke gemeenschap consensus bestaat, is diepe geologische berging.

⁷ Hoorzittingen van 1 juni 2021

(<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1793>), 29 juni 2021
(<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1944>) en 6 juli 2021
(<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1971&offset=8889>)).

Dit betekent niet dat andere oplossingen niet in overweging kunnen worden genomen. Een andere beheersoplossing moet echter een niveau van bescherming op lange termijn kunnen bieden dat gelijkwaardig is aan dat van diepe geologische berging.

Deze oplossing moet ook door de huidige generaties kunnen worden toegepast, d.w.z. eigentijds zijn met diepe berging.

Ze moet ook passen in het vigerende wet- en regelgevingskader op internationaal (verdragen), Europees (richtlijnen) en nationaal (wetten, wetboeken) niveau.

NIRAS heeft de procedure opgestart voor de goedkeuring van het nationale beleid inzake het beheer van B&C-afval; het openbaar onderzoek is momenteel afgesloten en het is aan de regering om bij koninklijk besluit een beslissing te nemen.

In dit verband heeft de regering het FANC om advies gevraagd. In zijn advies van 15-06-2021 (Advies nr. 2020-05-29-FB-5-4-2-NL, 2020) is het FANC van mening dat diepe berging momenteel "de veiligste langetermijnoptie is voor het beheer van hoogactief en/of langlevend radioactief afval". In zijn advies sluit het FANC langdurige opslag uit als een gelijkwaardige oplossing.

Een beslissing is in vele opzichten noodzakelijk. Een essentieel punt is dat, in de context van de geplande sluiting van de Belgische kerncentrales, de volledige kosten van het afvalbeheer op lange termijn zo goed mogelijk moeten kunnen worden ingeschat, wil men vermijden dat een ongecontroleerde financiële last en risico wordt doorgeschoven naar toekomstige generaties. Dit vereist kennis van de beoogde oplossing.

c) Verbruikte splijtstof

Vandaag wordt verbruikte splijtstof in België niet als afval beschouwd. De studies naar de berging zijn echter evenzeer toegespitst op verglaasd afval dat vóór het moratorium van 1993 werd opgewerkt als op verbruikte splijtstof.

Het statuut van de verbruikte splijtstof die momenteel in Doel en Tihange is opgeslagen, staat niet vast. De Commissie heeft een inbreukprocedure ingeleid tegen België wegens het ontbreken van een nationaal beleid inzake verbruikte splijtstof.

In dit stadium is dit punt uit technisch oogpunt niet van cruciaal belang, aangezien de studies en het onderzoek worden uitgevoerd. De controle op de voorzieningen voor langetermijnbeheer kan echter niet als volledig verzekerd worden beschouwd. Het is waar dat er voorzieningen bestaan en dat de toereikendheid daarvan periodiek wordt gecontroleerd overeenkomstig de inventariswet van 1997 en de wet op de voorzieningen van 2003. Binnen het huidige wetgevingskader kan de beschikbaarheid ervan op het juiste moment echter niet als absoluut gegarandeerd worden beschouwd. De Commissie voor nucleaire voorzieningen (CNV) heeft voorstellen gedaan voor wijzigingen in de wetgeving.

d) Transmutatie

Transmutatie bestaat erin radionucliden met een zeer lange radioactieve periode die zich in de verbruikte splijtstof van kernreactoren bevinden, met behulp van snelle neutronen om te zetten in stabiele atomen of atomen met een kortere levensduur, die uiteindelijk moeten worden geborgen. Transmutatie maakt deel uit van de splijtstofcyclus, waar het een aanvulling

op is. Het vereist de scheiding van de te transmuteren elementen en de vervaardiging van geschikte splijtstoffen of targets.

Momenteel worden vier mogelijkheden onderzocht voor de transmutatie van lagere actiniden:

-*de snelle kweekreactoren (FBR)*. Dergelijke inrichtingen bestaan in Rusland (Bor 60, BN 600, BN 800) of hebben bestaan in de VS en Frankrijk (Rapsodie, Phénix en Superphénix). Tot op heden is er nog nergens ter wereld een FBR van de vierde generatie gebouwd. Het Franse snelle kweekreactorproject Astrid (*Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*), een project dat verbonden is met de mogelijke opwerking die wordt overwogen om de actiniden in het afval gedeeltelijk te reduceren, werd eerst tot 150 MW teruggebracht, en vervolgens stopgezet.

-*de subkritische reactoren die door een deeltjesversneller worden aangedreven* (in het Engels ADS, *Accelerator Driven Systems*) waarin de splijting in stand wordt gehouden door neutronen afkomstig van een versneller en een spallatiedoelwit. Het gaat om het MYRRHA-project (*Multipurpose Hybrid Research Reactor for High-tech Application*) dat in de eerste fase in België aan het SCK CEN in Mol wordt ontwikkeld met EU-ondersteuning, met het oog op een eerste pilootreactor in 2038, met een totaalbudget geraamd op 1,6 miljard euro en waarvan de eerste fase door de regering is vastgelegd voor 0,56 miljard euro.

-*de gesmolten zout reactoren (GZR of MSR in het Engels - Molten salt reactor)*. Sinds de jaren zestig is er geen reactor van dit type meer gebouwd. Er bestaan projecten in de Verenigde Staten, Rusland, China en meer recentelijk in Frankrijk. Het SCK-CEN investeert in de gesmolten zout technologie in het Myrrha-project dat in voorbereiding is. China, dat op alle vlakken in GenIV investeert, heeft onlangs een stap aangekondigd in de richting van de verwezenlijking van het MS-concept van reactorkoeling met thoriumbrandstof in een kleine reactor van 2MWth. Thorium is een van de Gen IV-ontwikkelingen die allemaal pas tegen het midden van de eeuw energievooruitzichten kunnen bieden en buiten het bestek van dit verslag van de HGR blijven. China overweegt een prototypereactor rond 2030 en een industriële toepassing in zijn klimaatambities ook voor warmteproductie rond 2050 (Nature 2021). Deze thoriumbrandstof wordt al 60 jaar voorgesteld als alternatief voor het nog steeds overvloedige uranium. Met name India, dat over veel thoriumvoorraden beschikt, heeft in deze R&D geïnvesteerd (Uribe, 2018). In Nature (2021) werd een overzicht gepubliceerd van de vooruitzichten en beperkingen in termen van proliferatie (UCS, 2019) en afvalbeheer. Een omschakeling van de uraniumbrandstofindustrie (die momenteel goed ontwikkeld is met voorraden voor ongeveer een eeuw) op thorium blijft slechts een weinig realistische optie op lange termijn in de huidige markt.

-voor de goede orde, *de lasers*

Het gemeenschappelijke kenmerk van deze inrichtingen is hun geringe rijpheidsgraad en het feit dat ze nog niet zijn uitgerold en er dus nog geen sprake is van een significante industriële terugblik.

De kandidaat-radio-elementen zijn langlevende elementen die moeten worden gescheiden voordat ze in de splijtstof kunnen worden verwerkt of in specifieke targets kunnen worden verpakt, wat twee gevolgen heeft:

-het procedé kan niet worden toegepast op afval van categorie B of op reeds verglaasd afval. In beide gevallen zou de afvalmatrix (bv. Ingewerkt in bitumen of glasmatrix) eerst chemisch moeten worden vernietigd, wat een uiterst ingewikkelde operatie zou zijn; en de elementen die niet aan transmutatie onderhevig zijn (splijtingsproducten en curium) zouden dan opnieuw moeten worden verpakt voor berging;

-een transmutatie-inrichting is alleen haalbaar als er efficiënte en operationele faciliteiten en processen beschikbaar zijn voor de scheiding van de te transmuteren elementen.

De betrokken radio-elementen zijn hoofdzakelijk lagere actiniden en plutonium in de hypothese dat de cyclus wordt afgesloten. Deze laatste hypothese is onverenigbaar met de sluiting van de Belgische kerncentrales.

Wat de lagere actiniden betreft, waren de eerste resultaten die in het laboratorium werden verkregen die voor americium, omdat de eliminatie daarvan de warmteafgifte van het afval aanzienlijk zou verminderen. Transmutatie zou eventueel betrekking kunnen hebben op neptunium, maar waarschijnlijk niet op curium, waarvan de hantering zeer zware stralingsbeschermingsinstallaties vereist.

Tot slot zou transmutatie van elementen zoals technetium, cesium en jodium die tot de splijtingsproducten behoren, zelfs indien ze theoretisch mogelijk is, een veel te lage opbrengst hebben om voor industriële toepassing in aanmerking te komen.

Transmutatie, indien succesvol, kan de berging van langlevend afval optimaliseren, dankzij de verdichting die mogelijk wordt gemaakt door de vermindering van de thermische emissies van het afval, en zo besparen op de schaarse hulpbron die bergingsruimte altijd zal zijn.

Door de levensduur van het meest langstlevende afval te verkorten, zou transmutatie de toxiciteit van het afval op lange termijn verminderen zonder gevolgen ter hoogte van het afvoerpunt. De gevolgen van het binnendringen van mensen in de bergingsfaciliteit kunnen op lange termijn worden beperkt wanneer de emittenten met een kortere levensduur zijn verdwenen.

Transmutatie kan dus worden gezien als een middel om het langetermijnbeheer van het gevaarlijkste radioactieve afval (actiniden, maar geen splijtingsproducten) te vergemakkelijken, maar het is niet juist om te zeggen dat daardoor de noodzaak van geologische berging zou verdwijnen.

Transmutatie is experimenteel toegepast op monsters van minder dan een gram in onderzoeksreactoren (bv. Halden) met transmutatierendementen tot 50% voor americium. Er zijn dus meerdere transmutatiecycli nodig om de hoeveelheden lagere actiniden aanzienlijk te verminderen. De huidige industriële ervaring leert dat de voleindigingstermijn voor de opwerking na het verlaten van de reactor en de fabricage van nieuwe splijtstof ongeveer 20 jaar bedraagt. Afhankelijk van de gewenste reductie kan de geschatte duur van opeenvolgende transmutatiecycli gemakkelijk oplopen tot enkele eeuwen.

De industriële toepassing van actinidetransmutatie zou in de eerste plaats krachtige scheidingsinstallaties vereisen, waarbij in een extreem bestralende omgeving procédés worden toegepast die nog niet allemaal ontwikkeld zijn of nog niet industrieel bestaan.

Er bestaat nog geen door een versneller aangedreven reactor. Het Myrrha-project, dat gericht is op een pilootreactor in 2038, is een wereldprimeur en er bestaat dus geen experimentele demonstratie van transmutatie in dit soort installaties. Voorts is er geen onderzoek gedaan naar de chemie van de opwerking en fabricage van targets, hoewel dit een essentieel element vormt van een industriële uitrol.

Voor het afval dat door een toekomstig park zou worden geproduceerd, zou elk van de bovengenoemde technologieën vóór het einde van deze eeuw tot operationele installaties kunnen leiden, op voorwaarde dat er aanzienlijke middelen voor onderzoek en ontwikkeling aan worden besteed. Deze middelen liggen niet binnen het bereik van één enkel land en vereisen de totstandbrenging van brede internationale samenwerkingen.

In ieder geval zijn transmutatie-oplossingen onverenigbaar met een stopzetting van het opwerkingsbeleid voor splijtstoffen.

F. Besluit

Het dagelijks beheer wordt nu correct uitgevoerd in België. De historische situaties worden geleidelijk opgelost, maar de behandeling ervan zal nog verscheidene decennia vergen.

België heeft een nationaal beleid voor veel aspecten van afvalbeheer (zie het Nationaal programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstof).

Het langetermijnbeheer van middelactief en hoogactief langlevend afval (B&C-afval) is tot dusver echter nog niet vastgelegd. In het bijzonder ligt het beheer van verbruikte splijtstof (opwerking of niet) evenmin vast. Dit beleid is noodzakelijk om de toekomstige kosten van het beheer correct in te schatten en voorzieningen te treffen om deze kosten te dekken. De Europese Commissie heeft voor beide kwesties een inbreukprocedure ingeleid.

De wettelijke besluitvormingsprocessen zijn klaar om gebruikt te worden. Het maatschappelijk bestuur dat nodig is om tot besluiten te komen die op krachtige steun van de bevolking in het algemeen en op plaatselijk niveau kunnen rekenen, moet echter nog worden ontwikkeld.

Transmutatie kan gezien worden als een interessante manier om het beheer van radioactief afval te optimaliseren, met name door de verdichting van de berging die daardoor mogelijk zou worden; geologische berging van langlevend middelactief en hoogactief afval (B&C-afval) wordt daardoor echter niet overbodig. Transmutatie is onlosmakelijk verbonden met de wetenschappelijke en industriële ontwikkeling van geavanceerde scheidingstechnieken (geavanceerde opwerking) en de vervaardiging van geschikte splijtstoffen of targets. Gezien de thans waargenomen transmutatierendementen (50% voor americium) zou transmutatie over perioden van ongeveer een eeuw moeten worden voortgezet om een significant effect te hebben.

Transmutatietechnieken bevinden zich momenteel in een embryonaal maturiteitsstadium. De industriële toepassing ervan zou een valabele denkpiste kunnen worden tegen het einde van de eeuw, op voorwaarde dat er aanzienlijke middelen voor worden uitgetrokken, noodzakelijkerwijs in een internationaal kader. Dat is evenwel onverenigbaar met het

stopzetten van de opwerking van verbruikte splijtstof en, meer in het algemeen, van de voortzetting van het gebruik van kernenergie.

De HGR beveelt aan

- om een nationaal beleid inzake verbruikte splijtstof op te stellen waarin duidelijk wordt bepaald hoe (opwerking of diepe geologische berging) en wanneer deze zal worden behandeld;
- om het nationaal beleid inzake middelactief en hoogactief langlevend afval (B- en C-afval) vast te leggen door te beslissen om dit afval in een diepe geologische berging te plaatsen, met bijzondere aandacht voor veiligheid en nauwkeurige kennis van de fysisch-chemische kenmerken van het afval;
- om het wetgevend kader voor provisies te verbeteren, kwestie van ervoor te zorgen dat deze toereikend zijn en op het juiste moment voor België beschikbaar zijn. De Europese Commissie (EC) zou deze garanties ook moeten veiligstellen voor de grensoverschrijdende elektriciteitsexploitanten, aangezien zij de liberalisering van de elektriciteitsproductie heeft bevorderd;
- om een maatschappelijk bestuur in te stellen dat garant staat voor degelijke en transparante besluitvormingsprocessen.

De HGR vestigt vooral de aandacht op het feit dat het van essentieel belang is om een statuut te geven aan de verbruikte splijtstof. Zonder een dergelijk statuut kan deze niet worden beheerd en wordt de financiële last overgedragen aan de toekomstige generaties. Ook moet worden voorkomen dat er een beleid wordt gevoerd van onbeperkte opslag op de sites van de centrales, wat op de lange termijn niet als veilig kan worden beschouwd. (FANC-advies nr. 2020-05-29-FB-5-4-2-NL, 2020)

1.2.2 Discussie en ethische aspecten

Een belangrijk en onontkoombaar zwak punt van kernenergie is de bestemming van verbruikte splijtstof en zeer langlevend radioactief afval (meerdere tienduizenden jaren) en de mogelijke gevolgen daarvan voor de gezondheid van de toekomstige generaties. Volgens de huidige stand van de kennis is er voor dit soort afval geen alternatief dan diepe geologische berging. Over deze oplossing bestaat er weliswaar een brede wetenschappelijke consensus op internationaal niveau, maar geen brede maatschappelijke consensus, zoals blijkt uit de meningsverschillen die zijn weergegeven in het laatste advies van de Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling (FRDO) over dit onderwerp: kan men, ondanks de solide wetenschappelijke basis en de grondige geologische kennis, bij gebrek aan ervaring hiermee, werkelijk garanderen dat dit afval duizenden jaren lang geïsoleerd blijft van mens en milieu? In overeenstemming met de wet "plannen en programma's" van 2006 werd op verzoek van NIRAS een advies van de Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling uitgebracht over het ontwerpplan van NIRAS voor radioactief afval (FRDO, 2020). Wat geologische berging betreft, was er geen consensus over een snel principebesluit ten gunste van geologische berging. Dit werd gesteund door slechts een deel van de leden, namelijk de vertegenwoordigers van de werkgevers, terwijl alle andere leden van de FRDO het daar niet mee eens waren. De enige leden die zich van stemming onthielden waren de voorzitter van de Raad (François-Xavier de Donnea) en een van de twee vertegenwoordigers van het jongerenforum. Er werden opmerkingen gemaakt over het feit dat "de veiligheid van elke geologische berging afhangt

van de modaliteiten van die geologische berging (diepte, stabiliteit van de geologische laag op lange termijn, doordringbaarheid van de laag)". Afgezien van deze vaststelling was er echter geen consensus. De leden van de eerste groep (werkgevers in ruime zin) "steunen het nemen van een principebeslissing ten gunste van een langetermijnbeheer van hoogactief en/of langlevend afval via een systeem van geologische berging", terwijl de andere leden "het gebrek aan bestaande studies over de andere opties [betreuren] en vinden dat het eventueel nemen van een principebeslissing voor geologische berging te vroeg komt en niet mag verhinderen dat andere beheermethodes dan de gekozen optie in aanmerking worden genomen."

Hoe dan ook moet er snel een beslissing worden genomen, want het is aan de generatie die het afval heeft geproduceerd om het beheer ervan op lange termijn te waarborgen. Aangezien het afval al bestaat, valt de beslissing feitelijk onder een realiteitsbeginsel. Bij diepe geologische berging van afval wordt een passief veiligheidsconcept gehanteerd dat berust op de stabiliteit van de geologische lagen waarin het wordt geplaatst en dat geen menselijk ingrijpen vergt. De geldigheid van dit concept wordt ondersteund door geoprospectieve studies en talrijke analoge fenomenen die in de natuur worden aangetroffen, waarvan de belangrijkste de natuurlijke kernreactoren van Oklo in Gabon en de uraniummijn van Cygar-Lake in Canada zijn. Het is van essentieel belang om de veiligheid op lange termijn op passieve wijze te waarborgen, omdat een permanente en voortdurende bewaking van de bergingsfaciliteiten onmogelijk gedurende zo een lange periode kan worden gegarandeerd. De geschiedenis heeft immers geleerd dat men niet onbepikt kan vertrouwen op de stabiliteit van sociale stelsels. Dit doet niets af aan de noodzaak van een zekere mate van controle door toekomstige generaties. De taak om de herinnering aan de site in stand te houden en de kennis die nodig is om deze te bewaken door te geven wordt een intergenerationele verantwoordelijkheid (wat trouwens ook geldt voor zeer langdurige tijdelijke opslag).

Diepe geologische berging van afval brengt voor toekomstige generaties de noodzaak met zich van langdurige bewaking en instandhouding van kennis en herinnering, een last die zij waarschijnlijk gedurende een lange periode, mogelijk duizenden jaren, zullen dragen. Deze oplossing moet bijgevolg uit ethisch oogpunt als moeilijk aanvaardbaar worden beschouwd. Echter, in de huidige situatie leiden de andere voorgestelde oplossingen tot een nog zwaardere belasting voor de toekomstige generaties. Daardoor is de huidige generatie gedwongen deze problematische oplossing als de ethisch best te rechtvaardigen oplossing aan te nemen.

Een ander discussiepunt betreft het optimale karakter van de geologische berging van verbruikte splijtstof of van oud afval zoals het bitumenafval van Eurochem op het Belgische grondgebied zelf. Idealiter zou het binnen een open Europees kader mogelijk moeten zijn om op het Europees grondgebied een beperkt aantal bergingsfaciliteiten te vestigen, eventueel geoptimaliseerd naar gelang het soort afval. Het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstof is echter momenteel een nationale verantwoordelijkheid. Dit is met name duidelijk vastgelegd in het door België geratificeerde Gezamenlijk Verdrag inzake de Veiligheid van het Beheer van Bestraalde Splijtstof en inzake de Veiligheid van het Beheer van Radioactief Afval (IAEA, 1997). Internationale oplossingen (die met name door Nederland worden overwogen) zijn niet a priori uitgesloten, maar ze zouden in ieder geval niet gemakkelijk te bedingen zijn. Voor een dergelijke oplossing is een eigen juridisch kader nodig, waarin de rechten en verantwoordelijkheden van de partijen zijn vastgelegd en dat een zekere wederkerigheid zou vereisen. Dat zou ook betekenen dat het hele afvalbeheersysteem moet worden gedeeld,

waardoor het moeilijk is om het achteraf in te voeren **De HGR beveelt aan de mogelijkheden tot samenwerking met buurlanden te onderzoeken voor de geologische berging van verbruikte splijtstof.**

Een deel van de nucleaire technologieën die bekend staan als Gen IV (*Generation IV reactors*) berusten op permanente recycling van de verbruikte splijtstof om het plutonium en het uranium opnieuw te gebruiken, met of zonder transmutatie van langlevende radionucliden (lagere actiniden, maar geen splijtingsproducten). Dit is het geval voor het Franse snelle kweekreactorproject Astrid, een project dat verbonden is met de mogelijke opwerking die wordt overwogen om de actiniden in het afval gedeeltelijk te reduceren, maar waarvan de stopzetting de sluiting van de splijtstofcyclus in gevaar brengt. Myrrha (*Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications*) is ook een transmutatiefaciliteit die snelle neutronen produceert (ADS: *Accelerator Driven System*), onder andere bestemd voor het onderzoek van de transmutaties van radionucliden in afval. Deze radionucliden moeten eerst zijn afgescheiden en opgenomen in de targets die aan de neutronenflux worden onderworpen. In feite zijn dit opties op zeer lange termijn, die onlosmakelijk verbonden zijn met de voortzetting van een volledig nucleair programma met opwerking. Het is belangrijk te beseffen dat deze technologieën geen oplossing zijn voor het huidige radioactieve afval en nieuwe soorten afval en verbruikte splijtstof voortbrengen waarvoor momenteel op industrieel niveau geen opwerkingsprocedures bestaan. **In dit verband adviseert de HGR om na te denken over de langetermijndoelstellingen van het onderzoek dat wordt uitgevoerd bij het SCK CEN (Studiecentrum voor kernenergie - *Centre d'étude de l'énergie nucléaire*), met name betreffende het Myrrha-project dat aanzienlijke investeringen vergt (totaal budget geraamd op 1,6 miljard euro, waarvan de eerste fase door de regering is vastgelegd voor 0,56 miljard euro), vergelijkbaar met de programma's van het Department of Energy (DOE) in de VS.**

De HGR is zich er ook van bewust dat er een versnelde ontwikkeling van nieuwe technologieën gaande is, onder andere in de VS, met als doel reactoren te ontwikkelen die gemakkelijker in te zetten en zuiniger zijn (*Small Modular Reactors* (SMR)) in de vorm van een *Pressurized Water Reactor* (PWR)) en andere die een rendabeler gebruik van hulpbronnen met minder afval mogelijk maken (*Fast Breeder Reactors* (FBR)) en die energie-efficiënter zijn (*High Temperature Reactors*; HTR). Ook wordt gestreefd naar veiliger reactoren door een ander ontwerp en containmentconcept, met minder risico op proliferatie. Sommige van deze reactoren zijn niet alleen bestemd voor het opwekken van elektriciteit, maar ook van energie (warmte voor industrieel gebruik en waterstofproductie). De meeste daarvan zijn nog in de ontwikkelingsfase. Gezien de vele mislukkingen in een ontwikkelingsgeschiedenis die zich over 70 jaar uitstrekt, zijn nog grondige evaluaties nodig inzake veiligheid en operationele en economische haalbaarheid. De conclusies zijn derhalve voorbarig. Een eventuele inzet die op industrieel niveau voor energieopwekking vergund en beschikbaar is, is op zijn vroegst in 2030-2035 te verwachten. Deze types van reactoren zijn ook in Europa onderzocht en getest, maar al tientallen jaren opgegeven. De spreiding van vele kleine eenheden brengt bovendien andere soorten risico's met zich. Deze ontwikkelingen, die concurreren met de opmars van Rusland en China, die reeds soortgelijke concepten hebben ontwikkeld (Rusland: drijvende SMR, FBR; China: EPR en AP1000 operationeel, HTR en SMR PWR voor 2024), hebben ook een niet te verwaarlozen militaire dimensie: het Bill Gates-project voor het beheer van plutoniumvoorraden en voorts ook het project voor microreactoren die op het slagveld kunnen worden ingezet (HTR DoE-DoD met nieuwe civiele en militaire splijtstofcyclus). **Deze reactoren bieden hoe dan ook geen oplossing voor de huidige keuzes die België tegen 2035 moet maken. Bovendien werpt hun gebruik voor militaire doeleinden een schaduw op hun verenigbaarheid met de beginselen van duurzame ontwikkeling.**

Tot slot moet worden opgemerkt dat China onlangs een stap heeft aangekondigd in de verwezenlijking van een kleine gesmolten zout reactor (MSR in het Engels - *molten salt reactor*) die wordt gebouwd met thorium-brandstof. Sinds de jaren zestig is er geen reactor van dit type meer gebouwd. Er bestaan projecten in de Verenigde Staten, Rusland en meer recentelijk in Frankrijk. Het SCK-CEN investeert in het gesmolten zout onderzoek in het Myrrha-project. Thorium wordt al 60 jaar voorgesteld als alternatief voor het nog steeds overvloedige uranium. Met name India, dat over veel thoriumvoorraden beschikt, heeft in dit onderzoeks- en ontwikkelingsgebied geïnvesteerd. Onlangs is een overzicht gepubliceerd van de vooruitzichten van de thoriumspleijstofcyclus in termen van afval, maar ook van de industriële beperkingen en van de proliferatie (Nature, 2021).

Thorium is een van de Gen IV-ontwikkelingen die pas tegen het midden van de eeuw energievooruitzichten kunnen bieden en buiten het bestek van dit verslag van de HGR blijven. Hetzelfde geldt overigens voor kernfusie, waarvoor in Europa en de rest van de wereld aanzienlijk meer middelen worden uitgetrokken, maar waarvan de bijdrage aan de energieproductie niet voor 2060 wordt verwacht.

Welke beslissingen er uiteindelijk ook worden genomen over het al dan niet verlengen van de levensduur van twee kerncentrales na 2025, het passief verbonden aan het radioactieve afval dat in het verleden werd geproduceerd, blijft een zware last die door de overheid moet worden beheerd. Een verlenging van deze centrales zou tevens leiden tot bijkomend zeer langlevend afval en/of verbruikte splijtstof (naar rato van 4%/1000 MWe/10 jaar). Dit is betrekkelijk weinig in verhouding tot de totale hoeveelheid afval en/of verbruikte splijtstof die reeds is geproduceerd, maar niet verwaarloosbaar, terwijl het passief verbonden aan het afval uit het verleden nog lang niet is weggewerkt.

In de ethische beschouwing moet ook worden benadrukt dat er grote onzekerheid heerst over de mogelijke gevolgen van de langdurige berging van kernafval voor de gezondheid van de bevolking. Deze kunnen immers enorm variëren, afhankelijk van scenario's die op deze tijdschaal moeilijk te voorspellen zijn, alsook van de kennis van de feitelijke fysisch-chemische kenmerken van het afval, welke samenhangt met de traceerbaarheid van de verpakingsprocessen (voor oud afval kan dit problematisch zijn) en van de waarschijnlijke ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis over de gevolgen van blootstelling aan ioniserende straling (zie punt 1.5).

1.3 Risico's verbonden aan militair gebruik

Er is een duidelijk verband tussen kernenergie voor civiele doeleinden en militaire toepassingen (kernwapens). Dezelfde grondstoffen (uranium, plutonium) worden gebruikt en het is gemakkelijk om tussen civiele en militaire programma's te schakelen. Proliferatie is een bedreiging die samenhangt met kernenergie en het Non-Proliferatieverdrag voor Kernwapens (NPV) heeft gemotiveerde staten er niet van weerhouden hun doeleinden te verwezenlijken.

De huidige kernwapens hebben een massale vernietigingskracht van 30 tot 3.000 maal de atoombom van Hiroshima. Door deze bom stierven 70.000 mensen onmiddellijk en nog eens 70.000 tegen eind 1945, terwijl vandaag de dag nog steeds kankers optreden die erdoor zijn veroorzaakt. Indien "slechts" 50 kernwapens zouden worden gebruikt (bv. door India en/of

Pakistan), zou een nucleaire winter ontstaan die omwille van de dalende temperaturen en tegenvallende oogsten (vooral rijst) aan 1 tot 2 miljard mensen het leven zou kosten.

Aangezien het hoofdkwartier van de NAVO (Noord-Atlantische Verdragsorganisatie) en de Europese instellingen zich in Brussel bevinden, is België een bijzonder kwetsbaar doelwit, te meer daar vermoed wordt dat er op de luchtmachtbasis Kleine-Brogel kernwapens aanwezig zijn.

Er zijn tal van voorbeelden van incidenten en ongevallen met kernwapens, om nog maar te zwijgen over de potentieel dramatische gevolgen van vals alarm (zoals in Hawaï in 2018) en de risico's van terroristische aanslagen of cyberaanvallen, die sinds het Stuxnet-virus⁸ (dat zou zijn ontwikkeld en gebruikt door Israël en de VS tegen Iran) een groeiend probleem zijn en wereldwijde regelgeving vereisen.

De grootste uitdaging is de wereldwijde vernietigingscapaciteit van de voorraden atoombommen die in een tiental landen, met name de Verenigde Staten en Rusland, aanwezig zijn. Het concept van nucleaire afschrikking, met zijn dimensie van psychologische oorlogsvoering, heeft zich zo ontwikkeld dat het risico dat ze worden gebruikt, verder is toegenomen (met een orde van grootte van 1% per jaar, volgens de hoorzittingen van de Amerikaanse *National Academy of Sciences*).

De *Bulletin of Atomic Scientists*⁹ actualiseerde op 27 januari 2021 zijn *Announcement of the Doomsday Clock*¹⁰ en hield daarbij rekening met de slechte aanpak van de wereldwijde COVID-19-gezondheids crisis. Deze wijst erop dat de politiek wereldwijd nog steeds niet is voorbereid om nog grotere dreigingen, namelijk nucleaire oorlog en klimaatverandering, aan te pakken, waarbij de pandemie slow motion zou zijn.

De initiatiefnemers van deze *Doomsday Clock* waren Einstein en de wetenschappers van de Universiteit van Chicago die de eerste atoomwapens hebben helpen ontwikkelen. In 1945 richtten zij de *Bulletin of the Atomic Scientists* op, die elk jaar een zogenaamde 'Doomsday Clock', een waarschuwing voor de nucleaire dreiging, herzielt en herbekijkt. Deze klok stond, zeker tijdens het Trump-tijdperk, op 100 seconden voor middernacht. Dit jaar werd de klok op hetzelfde niveau gezet, ondanks het aan de macht komen van President Biden. Volgens deze gezaghebbende internationale groep is de grootste dreiging op dit ogenblik niet het klimaat, maar wel het groeiende atoombomarsenaal. Volgens de *Bulletin* hebben de Amerikanen zeer onlangs nog een volledig nieuw heel sterk wapen aangekondigd, dat 100 miljard dollar heeft gekost. De Russen hadden al eerder een nieuw wapen ontwikkeld. Het UNO-verdrag voor ontmanteling van atoomwapens werd op 21/1/2021 geratificeerd maar is nog niet onderschreven door de landen met kernwapens noch door de NATO-leden. De Belgische regeringsverklaring geeft er wel een aanzet toe. Op weg naar een nieuwe Koude Oorlog is een "no first use"-verbintenis in het licht van dit grote risico absoluut op zijn plaats.

De HGR merkt op dat er in België geen specifiek noodplan bestaat voor het geval er een nucleaire oorlog uitbreekt, ondanks de kwetsbaarheid van het land in dit opzicht. Zoals andere internationale organisaties al eerder hebben benadrukt, **oordeelt de HGR dat de medische responscapaciteit in het geval van een nucleaire explosie (per ongeluk of in geval van een terroristische aanslag of oorlog), volledig zou worden overschreden.**

⁸ Stuxnet: een computervirus dat alleen computers aanvalt met software die door Siemens is ontwikkeld voor nucleaire installaties.

⁹ <https://thebulletin.org/doomsday-clock/>

¹⁰ Doomsday Clock

Volgens de HGR is de uitbanning van alle kernwapens de enige manier om een ramp te voorkomen. Deze doelstelling is vastgelegd in het Verdrag inzake de non-proliferatie van kernwapens, dat België heeft geratificeerd, en recentelijk nog duidelijker en dringender in het Verdrag tot verbod van kernwapens (2017), dat door 122 landen werd onderhandeld en goedgekeurd. Zoals de *World Federation of Public Health Associations*, de *World Medical Association* en het Internationaal Comité van het Rode Kruis (ICRC) al eerder hebben gedaan, beveelt de HGR aan dat België ernstig overweegt ook het Verdrag tot verbod van kernwapens te ondertekenen.

1.4 Risico's verbonden aan terrorisme

Dit type risico is één van de grootste bedreigingen voor vandaag en voor de toekomst (Cornelis, 2006). Nucleair terrorisme kan verschillende vormen aannemen: conventionele aanvallen (raketten, vliegtuigen, drones, enz.) tegen civiele of militaire nucleaire installaties of het vervoer van radioactief materiaal, sabotage van civiele nucleaire installaties (met inbegrip van cyberaanvallen), het gebruik van vuile bommen of andere technieken om radioactiviteit te verspreiden, of het gebruik van rudimentaire kernbommen of gestolen kernwapens (gelukkig een nog steeds ongekend *worst-case scenario*). De gebruikte bronnen hebben verschillende herkomsten (medisch, industrieel, smokkelwaar, enz.). Ziekenhuizen vormen een specifiek doelwit (aanwezigheid van brachytherapiebronnen, nucleaire geneeskunde, opslag van antidoten) en zijn moeilijker te controleren dan industriële installaties, omdat ziekenhuizen intrinsiek noodzakelijkerwijs opener en toegankelijker zijn.

Dit type risico is een van de grootste huidige en toekomstige bedreigingen en is uitvoerig onderzocht in advies 9552 van de HGR (HGR 9552, 2019) waarvan de grote punten hieronder herhaald worden. De HGR vestigt de aandacht op de specifieke kenmerken van door terrorisme veroorzaakte radiologische ongevallen en op de noodzaak om de interventiediensten naar behoren op te leiden en uit te rusten. Een van de grootste uitdagingen voor een adequate bescherming van de bevolking tegen radiologisch-nucleaire terreurdreigingen is de tijdige herkenning van hun kenmerken in termen van radioactiviteit of straling. In sommige gevallen kunnen stralingsdetectiesystemen permanent of tijdelijk worden ingezet op kritieke locaties of worden gebruikt bij specifieke evenementen. Het belangrijkste is dat reddingswerkers, in het bijzonder eerstehulpverleners, op elke plaats van een incident of ongeval beschikken over actieve detectoren waarmee straling in real time kan worden gedetecteerd en waarmee een eerste meting kan worden verricht, zodat zij dienovereenkomstig kunnen handelen op het gebied van persoonlijke bescherming en slachtofferzorg, ook stroomafwaarts, zoals bij het vervoer van slachtoffers per ambulance en in de ziekenhuizen waar zij worden opgenomen.

Gebeurtenissen met straling en/of besmetting van slachtoffers zijn zeldzaam, maar kunnen een enorme impact hebben op de werking van de gezondheidszorg in haar geheel. In al deze gevallen, ongeacht de aard van het incident, is er behoefte aan een adequaat actieplan, in de vorm van een nucleair en radiologisch noodplan voor ziekenhuizen, dat integraal deel moet uitmaken van de algemene noodplannen voor ziekenhuizen. Er is behoefte aan een gecentraliseerd overzicht van de middelen (interne en externe decontaminatie, opslagcapaciteit, enz.) en vaardigheden (medische en niet-medische, zoals dosimetrie in geval van besmetting) die in België beschikbaar zijn wat betreft de medische reactiecapaciteit in geval van een nucleair incident of ongeval. Naast de ziekenhuizen zijn verschillende overheidsinstanties bij deze problematiek betrokken, elk met hun eigen aanpak, bevoegdheid en deskundigheid. Het is van het grootste belang te streven naar een maximale

complementariteit na overleg met alle betrokken instanties en oefeningen uit te voeren om ervoor te zorgen dat elke partner precies weet wat er van hem wordt verwacht en wat hij van de anderen kan verwachten. Dit garandeert niet alleen een maximum aan competenties, maar ook een onmiddellijke toepasbaarheid.

In het geval van een radionucleaire terroristische aanslag is het voorkomen van inwendige besmetting van het grootste belang: dit kan vaak gedeeltelijk worden bereikt door eenvoudige handelingen zoals het uittrekken van bovenkleding en het afspoelen van blootgestelde huid. Wanneer radionucliden zijn ingeslikt en/of geïnhaleerd of wanneer inslikken en/of inhaleren sterk wordt vermoed, kan het gebruik van bepaalde “antidoten” de eliminatie van radionucliden uit het lichaam versnellen of, zoals bij het gebruik van stabiel jodium als preventieve maatregel, de gevolgen van de besmetting sterk verminderen. Wanneer verschillende van deze tegengiften niet, of althans niet gemakkelijk, beschikbaar zijn, zijn eenvoudige maatregelen zoals hyperhydratie, al dan niet met diuretica, eveneens van groot belang, omdat zij gewoonlijk zeer snel en zonder risico op bijwerkingen kunnen worden toegepast, behalve bij patiënten met reeds bestaand hart- of nierfalen. Sommige van deze antidoten zijn doorgaans in grote hoeveelheden verkrijgbaar in de meeste ziekenhuisapotheken, aangezien zij in de dagelijkse klinische praktijk worden gebruikt voor verschillende andere toepassingen dan radionucleaire incidenten. Andere zijn echter slechts in zeer beperkte hoeveelheden en in enkele geselecteerde ziekenhuizen beschikbaar, meestal in de nabijheid van nucleaire installaties. De HGR wijst op de noodzaak om voldoende voorraden farmaceutische producten aan te leggen en aan te houden om de gevolgen van interne stralingsbesmetting te beperken en ervoor te zorgen dat deze snel beschikbaar zijn voor hulpdiensten, ziekenhuisdiensten en de betrokken bevolking. Deze geneesmiddelen moeten op strategische plaatsen worden opgeslagen en er moeten afspraken worden gemaakt met farmaceutische bedrijven en/of buurlanden om deze geneesmiddelen in grotere hoeveelheden beschikbaar te stellen. Bij een grootschalig vrijkomen van radioactieve stoffen waarbij een groot aantal mensen betrokken is, kunnen de nationale middelen en logistiek immers onder druk komen te staan, waardoor internationale samenwerking noodzakelijk wordt.

Inspanningen op vlak van onderwijs en opleiding zijn ook nodig voor alle eerstehulpverleners en moeten voor de autoriteiten een prioriteit zijn.

Een bijzonderheid van door straling veroorzaakte symptomen is dat het enige tijd kan duren voordat zij zich voordoen, afhankelijk van het dosistempo, dat zij zich op verschillende plaatsen kunnen voordoen indien de slachtoffers die eraan zijn blootgesteld uit een groot gebied afkomstig zijn en dat er een reëel risico bestaat dat ze pas na lange tijd (verscheidene dagen of weken) als een door straling veroorzaakte ziekte worden gediagnosticeerd. Een praktisch gevolg is dat een reeks klinische tests, bv. het tellen van de witte bloedcellen, met name lymfocyten, moet worden uitgevoerd om inwendige radioactieve besmetting uit te sluiten of te bevestigen, vooral in het geval van mogelijke besmetting met alfastraling, waarvoor monitoring op basis van algemene metingen wellicht geen bewijs van inwendige besmetting oplevert. Deze les is geleerd uit de zaak Litvinenko¹¹. Grote aantallen slachtoffers die moeten worden gerustgesteld of getrieerd, vereisen grote hoeveelheden te nemen monsters en daarmee moet bij de noodplanning rekening worden gehouden.

Het is dan ook van belang dat alle artsen, met name huisartsen en spoedartsen, elk mogelijk stralingsletsel of -syndroom leren herkennen. Onderwijs en opleiding moeten voor artsen en verpleegkundigen al op het niveau van het hoger onderwijs beginnen en tijdens de opleiding tot specialist of huisarts worden geïntensiveerd. Gezien de verwachte lage waarschijnlijkheid

¹¹ Russische klokkenluider Alexander Valterovich Litvinenko stierf aan een vergiftiging met polonium-210 in november 2006.

van stralingsgebeurtenissen, moet de informatie regelmatig opnieuw in herinnering gebracht worden.

De HGR adviseert en steunt het ontwikkelen van een alomvattend noodplan voor dergelijke situaties. De HGR wijst op de noodzaak om voldoende voorraden farmaceutische producten aan te leggen en aan te houden om de gevolgen van interne stralingsbesmetting te beperken en ervoor te zorgen dat deze snel beschikbaar zijn voor hulpdiensten, ziekenhuisdiensten en de betrokken bevolking. De HGR vestigt bovendien de aandacht op de specifieke kenmerken van door terrorisme veroorzaakte radiologische ongevallen en op de noodzaak om de interventiediensten naar behoren op te leiden en uit te rusten. De HGR wijst er voorts op dat sommige terroristische daden er minder op gericht zijn om mensen te doden dan om paniek en verwarring in de samenleving te veroorzaken. De nodige communicatiemiddelen moeten dus worden voorbereid en ingezet om te trachten een dergelijke paniek te voorkomen.

1.5 Risico's voor de gezondheid en het milieu : stand van zaken, nieuwe gegevens en onzekerheden

Bij hoge doses, zoals in ongevalsituaties, in de nabijheid van hoogactieve bronnen of in het geval van een atoombom, zijn de risico's van ioniserende straling zeer groot (stralingsziekte, brandwonden, dood) en werden al zeer vroeg erkend. Voor lagere doses heerst nog steeds veel onzekerheid omtrent de risico's van ioniserende straling voor de menselijke gezondheid en het milieu, met name wat betreft de niet-kanker effecten (zoals hart- en bloedvataandoeningen en aandoeningen van hersenen en zenuwstelsel), epigenetische effecten, de gecombineerde effecten van blootstelling aan ioniserende straling en chemische stoffen, erfelijke effecten (nog niet waargenomen bij de mens, maar op ruime schaal aangetoond in dierstudies), de effecten van blootstelling tijdens de zwangerschap (embryo's en foetussen) en de effecten van blootstelling bij kinderen. Daarnaast zijn er de psychologische effecten (angst, stress, enz.) van niet-intentionele bestraling of radioactieve besmetting. In dit verband kan ook worden gewezen op de soms ernstige indirecte gezondheidseffecten van nucleaire ongevallen, zoals die welke worden veroorzaakt door de weigering om zich over de slachtoffers te ontfemen uit vrees voor besmetting (zie Fukushima).

Milieueffecten worden hier niet in detail besproken. Echter, hoewel er instrumenten bestaan om de milieueffecten te beoordelen, zoals die welke door ICRP en de EU zijn ontwikkeld, blijven er nog veel onzekerheden bestaan. De bezorgdheid betreft hoofdzakelijk het gebrek aan onderzoek naar de verstoring van het ecosysteem en de chronische effecten van ioniserende straling op niet-menselijke biota: multigenerationele effecten (veroorzaakt door chronische blootstelling gedurende meerdere generaties en transgenerationele effecten (overdracht via epigenetische mechanismen).

1.5.1 Ethische en epistemologische kwesties

De beoordeling van de effecten van ioniserende straling op de menselijke gezondheid is in de praktijk geconcentreerd in twee internationale organen, het *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) en de *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), plus het *Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation* (BEIR-rapporten) van de *National Research Council of the National Academies* in de VS. Tot voor kort speelde de WHO slechts een ondergeschikte rol als gevolg van regelingen op VN-niveau. De ICRP is ook de enige gezaghebbende internationale referentie voor de ontwikkeling van stralingsbeschermingsnormen. Deze worden vervolgens bijna volledig omgezet in regelgevingsinstrumenten door het *International Atomic Energy Agency* (IAEA) op internationaal niveau (internationale basisnormen die gelden voor alle staten die de IAEA om bijstand verzoeken) en op EU-niveau via richtlijnen van de Raad, waarvan de eerste ontwerpen worden opgesteld door de zogenaamde deskundigengroep van "artikel 31 van het Euratom-Verdrag".

Een dergelijke concentratie in groepen met een zeer klein aantal leden (minder dan 30 in UNSCEAR en een tiental in de ICRP (*Main Commission*), vaak met deelnemers die beide organen gemeenschappelijk hebben) brengt het risico met zich mee dat een soort "clubeffect" ontstaat (identiek paradigma; weerstand tegen nieuwe ideeën en cognitieve dissonantie; pseudo-consensus). De deskundigheid op het gebied van gezondheid en milieu vertoont in de nucleaire wereld echter vooral ernstige problemen op het gebied van onafhankelijkheid.

Politieke invloeden en belangenconflicten staan waarschijnlijk niet los van het feit dat sommigen vraagtekens zetten bij de voorzichtige aanpak die door de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) wordt bepleit, nl. een Lineaire Relatie zonder Drempel (LZD of LNT – '*Linear No Threshold*'-model in het Engels) tussen blootstelling aan ioniserende straling en het risico van kanker en erfelijke effecten. Hetzelfde geldt voor de vastgestelde tegenstand tegen een voorzorgsbenadering waarbij de beperkingen in de huidige beschikbare kennis en nieuwe onderzoeksgegevens in aanmerking worden genomen.

Een essentieel probleem bij risicobeoordeling is het misbruik van de '*evidence-based approach*' (EB) en het niet of onvoldoende in aanmerking nemen van epistemische onzekerheid (gebrek aan kennis) met een nadruk op statistische onzekerheid (Smeesters, 2016). Zo wordt EB door UNSCEAR geïnterpreteerd als een op "*certainty*" gebaseerde aanpak (*UNSCEAR 2012 Report – Annex A - Attributing health effects to ionizing radiation and inferring risks*), waarbij gegevens die niet 100% bewezen zijn, als onwetenschappelijk worden beschouwd. Een dergelijke opvatting van EB schiet tekort bij veel besluitvormingsproblemen op het gebied van de volksgezondheid (klimaatverandering, milieuverontreinigende stoffen, bestrijdingsmiddelen, levensmiddelenadditieven, om nog maar te zwijgen van COVID-19, enz.), terwijl het daarbij vaak gaat om besluiten die moeten worden genomen ondanks een gebrek aan sterke bewijzen, laat staan zekerheid, vooral ten aanzien van mogelijke langetermijneffecten. Dergelijke besluiten moeten worden gebaseerd op de beschikbare kennis (*knowledge based approach*), met inbegrip van de meest recente onderzoeksgegevens. Wanneer er voldoende bewijs is en wetenschappelijk aannemelijk is dat er een risico bestaat, moet de toepassing van voorzorgsmaatregelen worden overwogen. Er moet op worden gewezen dat het oneigenlijk gebruik van EB (zoals in de *100% certainty based approach*) een ernstig risico van misbruik inhoudt (strategie van de twijfel: Hens, 2021 ; Oreskes & Conway, 2010). Dit is bovendien reeds herhaaldelijk gebeurd, met name in de VS, om een financieel ongunstige wijziging van de regelgeving (bv. voor de tabaksindustrie) te voorkomen of zo lang mogelijk uit te stellen door voortdurend nieuwe twijfels te wekken. Bovendien is het, gezien de potentieel zeer ernstige gevolgen, bijna onmogelijk en zeker moeilijk te rechtvaardigen dat prospectief onderzoek op mensen met radioactieve stoffen ethisch verantwoord wordt uitgevoerd.

Zoals in het COMEST-rapport (*World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology*) van de UNESCO wordt onderstreept, « *although frequently limited to the decision-making processes in situations of uncertainty, the precautionary approach is also relevant and appropriate in science. The precaution approach in science includes:*

- *a systematic search for surprises ("thinking the unthinkable"), particularly for possible long term effects,*
- *a responsiveness to the first signals ("early warnings")*
- *and, last but not least, a focus on risk plausibility rather than on hard evidence. "*

Het begrip voorzorg is in 2008 ontwikkeld door de Nederlandse Gezondheidsraad. Het is in dit voortschrijdend besef van de noodzaak om zowel in het wetenschappelijke proces als bij de besluitvorming rekening te houden met *actuele* gegevens uit het onderzoek naar de effecten van ioniserende straling, dat de in artikel 31 van het Euratom-Verdrag bedoelde deskundigengroep¹² (Europese Commissie, 1957) een werkgroep heeft opgericht in verband

¹² Artikel 31 van het Euratom-Verdrag: "De basisnormen worden voorbereid door de Commissie, na advies van een groep personen, aangewezen door het Wetenschappelijk en Technisch Comité uit wetenschappelijke deskundigen van de Lid-Staten, met name uit de deskundigen op het gebied van de volksgezondheid. De Commissie vraagt over de aldus voorbereide basisnormen het advies van het Economisch en Sociaal Comité."

met de implicaties van het gezondheidsonderzoek en de stralingsbeschermingsnormen (RIHSS *working group: Research Implications on the Health and Safety Standards*) om jaarlijkse wetenschappelijke seminars voor te bereiden over onderwerpen waarover nieuwe gegevens bekend zijn geworden die gevolgen kunnen hebben voor de stralingsbeschermingsnormen of het stralingsbeschermingsbeleid. In het kader van deze seminars worden gerenommeerde deskundigen gevraagd om een stand van zaken met betrekking tot de bestaande kennis te geven en worden uitgenodigde deskundigen verzocht om een soort 'peer review' uit te voeren. Vervolgens worden de implicaties van de nieuwe gegevens voor het stralingsbeschermingsbeleid besproken. Deze RIHSS-seminars hebben de internationale stralingsbeschermingsgemeenschap herhaaldelijk gewezen op problemen waarmee tot dan toe geen rekening was gehouden of die werden onderschat (bv. in 2001 in het kader van onderzoek naar blootstelling in utero in zeer vroege stadia van de zwangerschap; in 2006 en 2008 over een risico op respectievelijk cataract en aandoeningen van de bloedsomloop voor doses die 10 keer lager waren dan eerder geraamd; en meer recentelijk, in 2017, over de langetermijneffecten van blootstelling van de hersenen in utero en bij kinderen). Deze documenten zijn beschikbaar op de website van de Europese Commissie (<https://ec.europa.eu/energy/node/1215>). De gezondheidseffecten van ioniserende straling werden klassiek verdeeld in stochastische effecten (kankers, erfelijke effecten), die zelfs bij lage doses willekeurig optreden en worden toegeschreven aan mutaties (of chromosoomafwijkingen), en deterministische of weefseffecten (stralingsziekte, radiodermatitis, enz.), die alleen bij hoge doses optreden en waarvan de ernst toeneemt met de ontvangen dosis. De laatste jaren is dan ook de aandacht gevestigd op een derde klasse van effecten (aandoeningen van de bloedsomloop, cognitieve effecten, enz.), waarvan de ernst zeker toeneemt met de dosis, maar die bij veel lagere doses optreden dan de klassieke deterministische effecten. De betrokken mechanismen zijn het voorwerp van talrijke studies en betreffen onder meer epigenetische veranderingen (genexpressie). We komen hier later nog op terug.

1.5.2 Door straling veroorzaakte kankers

De hierboven beschreven ethische en epistemologische problemen hebben geleid tot misleidende beweringen in naam van de wetenschap dat geen effecten kunnen worden "toegeschreven" aan ioniserende straling beneden een dosis van 100 mSv (d.w.z. voor de meeste bevolkingsgroepen die zijn blootgesteld aan ioniserende straling na een nucleair ongeval of als gevolg van fall-out van atmosferische kernbomproeven). Zoals hieronder aangetoond, **benadrukt de HGR dat dergelijke beweringen niet stroken met de huidige biologische en epidemiologische gegevens (die het wetenschappelijke karakter van de voorzichtige aanpak van de ICRP bevestigen) en leiden tot een minimalisering van de risico's waarmee bij de beleidsvorming rekening moet worden gehouden.**

Al vele jaren wordt aandacht besteed aan de kwestie van door straling veroorzaakte kankers bij lage doses (en dosistempo's). Epidemiologische zekerheid over de rol van ioniserende straling bij het ontstaan van bepaalde kankers bestaat boven bepaalde doses, maar beneden die doses is het effect van ioniserende straling om statistische redenen moeilijker te onderscheiden van andere mogelijke oorzaken van kanker. Naast epidemiologisch onderzoek wordt daarom ook een beroep gedaan op biologische mechanismen om de effecten bij lage doses in te schatten.

Het voornaamste mechanisme van radiocarcinogenese is het ontstaan van niet of slecht herstelde mutaties (door complexe DNA-dubbelstrengbreuken) in kritieke doelwitcellen. Deze mutaties vergroten de groep geïnitieerde cellen die kankercellen kunnen worden als gevolg van andere mutaties die zich voordoen met de leeftijd en de omgeving. Net als bij kanker in het algemeen hebben sommige individuen een genetische gevoeligheid voor de inductie van door straling veroorzaakte kankers. Er zij op gewezen dat door straling veroorzaakte kankers helaas geen biologische handtekening hebben, zodat het onmogelijk is de ene door straling veroorzaakte kanker van de andere te onderscheiden. Het concept van een mogelijke dosisdrempel voor mutatie-inductie gaat ervan uit dat niet-herstelde DNA-beschadiging automatisch tot celdood leidt of dat het herstel van een DNA-beschadiging onder een bepaalde dosis altijd getrouw verloopt. Deze getrouwe reparatie is echter niet gegarandeerd, vooral gezien het risico van verlies van heterozygotie voor tumorsuppressorgenen (het reparatiemechanisme gebruikt het niet-aangetaste allel als kopie voor reparatie). Bovendien is nu bekend dat bij zeer lage doses (2-3 mSv) de reparatiemechanismen niet worden geactiveerd en mutaties dus niet worden hersteld.

De beoordeling van het risico van door straling veroorzaakte kanker als functie van de dosis is hoofdzakelijk gebaseerd op de *Life Span Study*, die een groot cohort volgt van mensen van alle leeftijden die tijdens de kernexplosies in Hiroshima en Nagasaki zijn bestraald. Momenteel komen door straling veroorzaakte kankers nog steeds voor. Er is inderdaad een constant *relatief* verhoogd risico gevonden in de loop van het leven. Aangezien de incidentie van kanker in het algemeen toeneemt met de leeftijd en het verhoogde risico van door straling veroorzaakte kanker relatief is, betekent dit dat het aantal gevallen van door straling veroorzaakte kanker blijft toenemen. De huidige schatting van het *lifetime*-risico van dodelijke door straling veroorzaakte kanker bij hoge doses en hoge dosistempo's is ongeveer 10%/Sv voor een bevolking van gemengde leeftijd. Dit risico wordt verdubbeld (ongeveer 20%/sievert) als men kijkt naar de totale incidentie (fatale en niet-fatale kankers). Globaal (met verschillen naar gelang van het soort kanker) is het 2 tot 3 maal hoger voor blootgestelde kinderen en 30 tot 60% hoger voor vrouwen.

Zoals hierboven vermeld, kan de epidemiologische schatting van het *lifetime*-risico van stralingsgeïnduceerde kanker bij lage doses (minder dan ongeveer 100 mSv) niet met zekerheid worden gemaakt, want hoe lager de dosis, hoe groter de statistische onzekerheid. Er zijn veel andere factoren die kanker veroorzaken en de achtergrondruis fluctueert. In het algemeen zijn de aangetroffen dosisresponscurven van het lineair-kwadratische type, d.w.z. dat zij bij lage doses lineair lijken, waarna de helling geleidelijk steiler wordt om bij zeer hoge doses weer af te nemen ('*cell killing effect*': de gedode cellen worden niet kankerverwekkend). Gezien dit verschil tussen de curven bij lage en hoge doses, rijst de vraag hoe groot de risicovermindering is bij overgang van een hoge dosis naar een lage dosis (DDREF: '*Dose and Dose Rate Effectiveness Factor*'). In de huidige Europese regelgeving, die gebaseerd is op de ICRP, wordt een DDREF van 2 gebruikt, hetgeen betekent dat de curve bij lage doses half zo steil wordt geacht en dat het *lifetime*-risico van dodelijke stralingsgeïnduceerde kanker bij lage doses bijgevolg wordt geraamd op ongeveer 5%/Sv (voor een gemengde leeftidspopulatie). Dezelfde variaties bestaan voor de totale incidentie (x2) en als functie van het geslacht (+30-60% voor vrouwen) en de leeftijd bij blootstelling (2-3 plus). Een bijzonder geval is dat van blootstelling in de baarmoeder, omdat in dit geval een eerste golf van kankers zeer snel verschijnt (vooral leukemie: eerste decennium) en statistische significantie al bestaat vanaf 10 mSv.

Het risico van door straling veroorzaakte kankers bij lage doses en de biologische mechanismen die bij deze doses een rol spelen, zijn al jaren onderwerp van veel discussie.

Dit is niet verwonderlijk gezien de problemen die op het spel staan: de financiële kosten van stralingsbeschermingsmaatregelen (radioactieve lozingen en afval), de nasleep van nucleaire ongevallen of langdurige besmetting van het milieu (kernwapenproeven, enz.), de implicaties voor de medische beeldvorming, enz. In de betrokken kringen circuleren op grote schaal onjuiste beweringen, die erop gericht zijn het risico te minimaliseren of te ontkennen voor doses beneden het "magische" cijfer van 100 mSv. Verklaringen dat er onder 100 mSv geen effecten "kunnen worden toegeschreven" aan ioniserende straling (zie het attribueerbaarheidsrapport van UNSCEAR en de basis van de UNSCEAR-conclusies in het Fukushima-rapport) of dat doses onder 100 mSv "veilig" zouden zijn, stroken niet met de huidige biologische gegevens en evenmin met de resultaten van recente epidemiologische studies bij blootgestelde werknemers, kinderen en foetussen, die significante resultaten laten zien ver beneden 100 mSv.

In een zeer recent UNSCEAR-verslag (UNSCEAR 2020 Report to General Assembly) wordt erkend dat *"recent epidemiological investigations, in particular of occupational and medical cohorts, have added to the epidemiological evidence underpinning low-dose and low-dose-rate cancer risk estimation and are supported by the mechanistic findings. Good justification remains for the use of a non-threshold model for risk inference for radiation protection purposes"* ("Recent epidemiologisch onderzoek, met name in beroepscohorten en medische cohorten, heeft het epidemiologische bewijsmateriaal dat ten grondslag ligt aan de schatting van het kankerrisico bij lage doses en lage dosistempo's versterkt en wordt door de mechanistische bevindingen ondersteund. Het gebruik van een niet-drempelmodel voor risico-inferentie met het oog op stralingsbescherming blijft gerechtvaardigd."). In hetzelfde verslag wordt benadrukt dat de mogelijke bijdragen van verschijnselen zoals overdraagbare genomische instabiliteit, bystander-verschijnselen, inductie van abscopale effecten en adaptieve respons nog onduidelijk zijn, terwijl de conclusies betreffende de stimulering van de tumorvascularisatie door blootstellingen aan lage doses consistent zijn in de beschikbare gegevens (stimulering van de tumorvascularisatie zou de ontwikkeling van tumoren moeten bevorderen). Belangrijk is ook dat in het verslag wordt gesteld dat *"studies of samples from persons inhabiting areas with high natural background radiation levels that are interpreted by some as providing evidence for adaptive response are insufficiently coherent to be adopted for risk assessment purposes"* (onderzoek van monsters van personen die wonen in gebieden met hoge natuurlijke achtergrondstralingsniveaus, die door sommigen worden geïnterpreteerd als bewijzen voor een adaptieve respons, onvoldoende coherent zijn om voor risicobeoordelingsdoeleinden te worden gebruikt").

1.5.3 Door straling veroorzaakte erfelijke effecten

Er is momenteel weinig tot geen belangstelling voor de kwestie van de door straling veroorzaakte erfelijke effecten die duidelijk zijn beschreven in dierstudies maar niet zijn waargenomen in studies bij overlevenden van atoombommen. De ICRP houdt nu alleen nog rekening met het risico over twee generaties in haar nieuwe coëfficiënten voor het genetisch risico door straling. De opgegeven reden is als volgt: *Equilibrium value used in previous evaluations is judged to be of "questionable scientific validity because of the unsupported assumptions necessary on selection coefficients, mutation component and population changes over hundreds of years."*

Indirect erkent de ICRP dus een grote mate van onzekerheid over deze kwestie en dit lijkt een merkwaardige reden om het probleem te negeren.

1.5.4 Risico's van in utero bestraling

De risico's van bestraling in de baarmoeder vertonen, naast de bovengenoemde risico's van kanker of genetische effecten, enkele bijkomende bijzonderheden als gevolg van de intense ontwikkelingen die zich in enkele dagen aan het begin van de zwangerschap en vervolgens in enkele maanden voltrekken. De risico's hangen af van het tijdstip van de zwangerschap:

- tijdens de pre-implantatie- (0-5 dagen na de conceptie) en post-implantatie- (gastrulatie) fasen: hoofdzakelijk sterfte, zeldzame aangeboren misvormingen ten gevolge van genetische predisposities;
- tijdens de organogenese (3-8 weken na de conceptie): abortussen, aangeboren misvormingen, neuropathologie, microcefalie;
- van 9 tot 15 weken en in mindere mate van 16 tot 25 weken: cognitieve effecten, lager IQ en mentale retardatie.

Net als bij kankers die door straling worden veroorzaakt, wordt het cijfer 100 mSv vaak ten onrechte genoemd als een praktische drempel waaronder er geen risico is voor het embryo of de foetus. Zoals hierboven reeds is gezegd, klopt dit helemaal niet voor het risico van stralingsgeïnduceerde kanker (met name leukemie), waar statistisch significante effecten worden waargenomen vanaf 10 mSv.

Het is echter belangrijk te beseffen dat er in het hele dosisbereik, dus ook onder de 100 mSv, nog veel onzekerheden bestaan, die te wijten zijn aan verontrustende elementen uit voorstudies (*early warnings*) of, wat vaker voorkomt, aan een vrijwel totaal gebrek aan onderzoek: individuele genetische gevoeligheden (*persistence of un- or misrepaired DNA-damaged cells* ("*teratogenically damaged cells*") *due to alterations of genes involved in DNA-damage response*), langetermijneffecten van inwendige bestralingen en tot slot maar daarom niet minder belangrijk langetermijneffecten ten gevolge van epigenetische wijzigingen en blootstellingen van de zich ontwikkelende hersenen (zie volgend punt).

1.5.5 Recente ontwikkelingen: nieuwe mechanismen die stralingsgeïnduceerde effecten teweegbrengen

De HGR vestigt bovendien de aandacht op het feit dat de laatste jaren nieuwe gegevens over niet-kankereffecten (zogenaamde deterministische of weefseffecten) van blootstelling aan ioniserende straling zijn verschenen, die nopen tot een herevaluatie van de risico's van ioniserende straling bij lage (minder dan 100 mSv) en middelhoge (100 tot 500 mSv) doses. De drempels voor het optreden van bepaalde effecten van dit type (hart- en vaatziekten, herseneffecten, cataract, enz.) liggen namelijk ver onder de vorige schattingen. Deze lagere drempels vallen vooral op bij kinderen en embryo's-foetussen die *in utero* zijn blootgesteld en verschillen in functie van de individuele gevoeligheid voor straling. De betrokken mechanismen zijn van een nieuw type dat tot nu toe niet in aanmerking is genomen (epigenetische, mitochondriale en ontstekingseffecten alsook vroegtijdige veroudering) en het onderzoek naar de wisselwerking ervan met andere milieufactoren staat nog in de kinderschoenen.

De vragen en uitdagingen die deze nieuwe gegevens oproepen, waren het onderwerp van een wetenschappelijk seminar van artikel 31-deskundigen (European Commission, 2018, EU Seminar 2017 May: *Emerging issues with regard to organ doses*), waar onder meer de laatste resultaten van het Europese onderzoek van het FP7-programma¹³ werden gepresenteerd (CEREBRAD¹⁴, PROCARDIO). In de volgende paragrafen worden de belangrijkste conclusies samengevat die de deskundigen van artikel 31 van het Euratom-Verdrag tijdens dit seminar hebben getrokken.

- Effecten door straling worden waargenomen bij lage en middelmatige doses op de hersenen (met name bij kinderen en na bestraling in utero), het cardiovasculaire systeem en de ooglenz.
- Duidelijke effecten van straling op de gezondheid worden waargenomen bij middelmatige doses (100 tot 500 mSv); deze effecten hebben een cumulatief karakter. Biologische effecten (waarvan de link met de gezondheidsuitkomsten onzeker is) werden reeds vastgesteld bij doses ten belope van enkele tientallen mSv.
- Cognitieve effecten worden vastgesteld bij doses lager dan 100 mSv in een in utero blootgestelde cohort en in een cohort van hemangioompatiënten die werden blootgesteld op de leeftijd van minder dan een jaar, met een verhoging met de stralingsdosis in de linkerhersenhalft vanaf een drempel van ongeveer 0,06 Gy.
- Deze effecten zijn het gevolg van (nog in onderzoek zijnde) mechanismen die geen mutaties in het nucleaire DNA als initiële gebeurtenissen inhouden, zoals epigenetische mechanismen. Mitochondria zouden een belangrijke rol kunnen spelen. De dosis-responsrelaties kunnen totaal verschillend zijn van die welke bij kanker worden waargenomen.
- Men vermoedt dat andere chronische niet-kankereffecten door straling en via soortgelijke mechanismen worden veroorzaakt, zoals stofwisselingsziekten, waaronder diabetes.
- Gecombineerde blootstelling aan straling en andere omgevingsagentia (zoals MeHg, nicotine en PBDE's) verlaagt de dosis waarbij effecten op de hersenen worden waargenomen aanzienlijk (minder dan 100 mSv). Dergelijke gecombineerde blootstellingen moeten verder worden onderzocht, ook voor andere organen.
- Aangezien deze effecten een cumulatief karakter hebben, moeten levenslange dosislimieten voor beroepsmatige blootstelling worden besproken.
- Verschillen in risico's die verband houden met geslacht, leeftijd en levensstijl kunnen belangrijk zijn en moeten bij de risicobehoordeling in aanmerking worden genomen
- Hoewel er nog veel onzekerheden bestaan, is de hoeveelheid kennis voldoende om rekening te houden met het risico van dergelijke effecten bij radiotherapie, interventieradiologie en -cardiologie, kinderradiologie (CT) en in ongevalsituaties (evacuatie- en herhuisvestingsniveaus).

Een ander wetenschappelijk seminar van de artikel 31-deskundigen, dat kort daarna werd georganiseerd, ging dieper in op het vraagstuk van de epigenetische effecten, die met name een rol spelen bij deze recente waarnemingen van stralingsgeïnduceerde effecten in bepaalde organen bij doses die ver beneden de eerder veronderstelde drempels liggen. (European Commission, 2019, EU Seminar 2017 Nov: *Epigenetic effects – potential impact on radiation protection*). Ook hier worden in de volgende paragrafen de belangrijke conclusies herhaald die de artikel 31-deskundigen tijdens het seminar hebben getrokken.

¹³ FP7: 7th Framework Programme from the European Commission

¹⁴ CEREBRAD : Cognitive and Cerebrovascular Effects Induced by Low Dose Ionizing Radiation

- Epigenetica is de studie van veranderingen in de genfunctie die geen verandering in de DNA-sequentie met zich meebrengen. Deze veranderingen vinden plaats op het niveau van de genexpressie. Zij houden verband met wijzigingen van de methylering van het DNA en histonen en met de regulatie van niet-coderende RNAs.
- Zij zijn mitotisch en/of meiotisch overerfbaar (transgenerationele effecten) en spelen een rol bij de normale ontwikkeling van organismen, door de verschillende celtypes te definiëren. Het epigenetische patroon kan echter worden aangetast door tal van omstandigheden met oxidatieve stress, waaronder ioniserende straling en omgevingsfactoren, maar ook levensstijl (dieet, stress, ...).
- Het epigenetische patroon is gekoppeld aan de stabiliteit van het genoom (NTE). Aantasting van het genexpressiepatroon kan leiden tot disfunctie en een verscheidenheid van ziekten, waaronder kanker.
- Epigenetische veranderingen kunnen omkeerbaar zijn; een reeks ingrepen, onder meer op leefstijlfactoren, zou de ontwikkeling van ziekten mogelijk kunnen terugdraaien (zoals de kankerpreventieve rol van gezonde voeding).
- In de etiologie van veel gezondheidseffecten die in verband worden gebracht met blootstelling aan straling zit er een epigenetische component. Het gaat hierbij niet alleen om kanker, maar ook om neurologische, cardiovasculaire en metabolische stoornissen en ziekten.
- Door straling veroorzaakte epigenetische afwijkingen moeten zorgvuldig worden beschouwd, naast de goed onderzochte effecten van straling die tot genetische afwijkingen leiden, d.w.z. mutaties en chromosoomafwijkingen.
- Transgenerationele genomische instabiliteit is een verhoogd mutatiepercentage dat wordt waargenomen bij de niet-blootgestelde nakomelingen van bestraalde ouders. Het is zeer waarschijnlijk het gevolg van epigenetische gebeurtenissen. Het is aangetoond bij dieren; momenteel is er in de beschikbare literatuur geen consistent beeld van het mogelijke effect bij de mens. Volgens de huidige gegevens is dit hoogstwaarschijnlijk te wijten aan acute blootstelling aan hoge doses van de vader. Epigenetische mechanismen kunnen een belangrijke rol spelen bij multi- en transgenerationele effecten in de niet-menselijke biota. Chronische effecten bij de niet-menselijke biota moeten in een multigenerationele context worden bestudeerd. Epigenetische mechanismen kunnen ook een rol spelen bij blastopathieën (geïnduceerd vóór de embryonale implantatie).
- Afwijkende epigenetische mechanismen spelen een rol bij late, door straling veroorzaakte effecten op de hersenen na prenatale en vroege postnatale bestraling. Sommige persistente effecten (DNA-schade, ontsteking) worden waargenomen in dierstudies, zelfs bij lage doses van 20-100 mGy. Het kritieke moment is het begin van de zwangerschap, waarbij genoombrede globale demethylering gevolgd door geleidelijke epigenetische programmering van de ontwikkeling cruciaal is voor een normale hersenrijping. Deze processen zijn gevoelig voor stress in het vroege leven, zoals stress bij de moeder, toxicologische blootstellingen en virale infecties. Door ioniserende straling geïnduceerde transcriptomische afwijkingen lijken sterk op die bij nakomelingen die zijn blootgesteld aan alcoholgebruik door de moeder of aan infectieuze agentia (ZIKV).

De artikel 31-deskundigen hebben ook de mogelijke implicaties van deze nieuwe gegevens op het gebied van nucleaire ongevalsituaties (noodsituatie en fase na het ongeval) geëvalueerd:

- Stralingsgeïnduceerde effecten zijn waargenomen bij lage (minder dan 100 mSv) en middelmatige (100-500 mSv) doses op organen als de hersenen (met name bij kinderen en na bestraling in utero) en het cardiovasculaire systeem (+ oogziekten en mogelijk stofwisselingsziekten). Bovendien vertonen deze effecten een cumulatief karakter en is de vroege prenatale periode gevoelig voor stress in het vroege leven, met inbegrip van bestraling, die de epigenetische programmering van de ontwikkeling (cruciaal voor de normale rijping van de hersenen) verstoort. Om deze redenen moeten maatregelen ter bescherming van kinderen en zwangere vrouwen, met inbegrip van referentie-, evacuatie- en herhuisvestingsniveaus, in het licht van deze nieuwe gegevens opnieuw worden geëvalueerd.

Er moet op worden gewezen dat epigenetische mechanismen mogelijks verband houden met de morbiditeit van kinderen na het ongeval van Tsjernobyl.

In het verslag "*Recent scientific findings and publications on the Health effects of Chernobyl*" (European Commission, 2011), wordt erop gewezen dat er veel beweringen zijn gedaan over de gezondheid van kinderen in de besmette gebieden rond Tsjernobyl, die lijken te lijden aan meerdere ziekten en co-morbiditeiten met herhaalde manifestaties. Voorts benadrukt dit verslag dat de talrijke publicaties van Oekraïense, Russische en Witrussische onderzoekers over de morbiditeit van kinderen tot dusver weinig belangstelling hebben gewekt in de rapporten van internationale organisaties en dat dit ten dele te wijten is aan het feit dat vele van deze studies niet in het Engels beschikbaar waren (en nooit werden vertaald) maar ook aan het feit dat zij vaak niet voldeden aan de wetenschappelijke en redactionele criteria die doorgaans in de huidige "peer reviewed" literatuur vereist.

Aangezien er momenteel een gebrek is aan analytische studies waarin de doses en het risico van niet-kankerziekten bij kinderen op individueel niveau worden geraamd, is in Oekraïne in samenwerking met de Amerikaanse universiteit van South Carolina een reeks longitudinale studies naar de gezondheid van kinderen gestart, waarbij gebruik wordt gemaakt van het feit dat alle kinderen in het bestudeerde gebied verplicht waren deel te nemen aan een jaarlijks medisch onderzoek. Op basis van hun voorbereidend werk concludeerden de auteurs van deze studies dat het huidige "*optimism of the UN reports may be based on too few studies published in English, conducted too soon after the event to be conclusive*". ("het huidige optimisme van de VN-rapporten mogelijk gebaseerd is op een onvoldoende aantal in het Engels gepubliceerde studies, die te kort na de gebeurtenis zijn uitgevoerd om sluitend te zijn"). In het verslag van de Europese Commissie wordt opgemerkt dat op grond van de thans beschikbare gegevens geen harde conclusies kunnen worden getrokken, maar dat deze gegevens belangrijk genoeg zijn om te vragen onderzoek van goede kwaliteit verder te zetten naar de morbiditeit bij kinderen die in besmette gebieden wonen.

Helaas is de strategische langetermijnagenda voor onderzoek naar de gevolgen van het ongeval in Tsjernobyl voor de gezondheid (Project ARCH: Agenda for Research on Chernobyl Health) niet uitgevoerd.

Er is meer onderzoek nodig naar door straling veroorzaakte epigenetische afwijkingen, met name door meer menselijke en epidemiologische gegevens te verzamelen, waarbij bijzondere aandacht moet worden besteed aan de rol van levensstijlfactoren en van gecombineerde blootstelling aan milieuverontreinigende stoffen.

Er moeten passende beleidsmaatregelen en strategieën worden ontwikkeld om een follow-up op lange termijn van blootgestelde personen (met name kinderen) mogelijk te maken, met inbegrip van niet-kankereffecten.

De onderzoeksprioriteiten worden regelmatig vastgesteld door het Europese platform MELODI¹⁵ dat zich bezighoudt met onderzoek naar het risico van blootstelling aan lage doses ioniserende straling. In zijn Strategic Research vermeldt de huidige agenda als prioriteiten met belangrijke implicaties ("game-changers") de hierboven uiteengezette grote thema's: *niet-kankerziekten bij lage en matige doses (neuro-cognitieve aandoeningen, hart- en vaatziekten, enz....), rol van de epigenetica, individuele stralingsgevoeligheid, DDREF, verdeling van de dosis binnen de organen en, doorheen deze kwesties, de rol van de leeftijd bij blootstelling (kinderen).*

1.5.6 Conclusie

Gezien de mogelijke implicaties van deze nieuwe gegevens, adviseert de HGR om de nodige steun te verlenen aan verder wetenschappelijk onderzoek naar deze nieuwe effecten en mechanismen.

Meer in het algemeen adviseert de HGR, gezien de vele aanhoudende onzekerheden en de gevolgen daarvan voor de gezondheid, vooral bij kinderen en ongeboren baby's, dat het beleid ter bescherming van de bevolking tegen de gevaren van ioniserende straling door een voorzorgsaanpak wordt gestuurd.

De HGR beveelt met name aan dat in de nucleaire noodplannen maatregelen worden opgenomen die specifiek gericht zijn op de bescherming van kinderen en zwangere vrouwen, en dat deze maatregelen, zodra de situatie het toelaat, in alle fasen van een nucleair ongeval worden uitgevoerd.

1.6 Nucleaire noodplannen

Het Belgische noodplan van maart 2018 werd uitgewerkt door het Crisiscentrum, het FANC en Bel-V, met input van stakeholders zoals de HGR en waarbij rekening is gehouden met de lessen die uit het verleden zijn geleerd (Fukushima, enz.) (KB van 1 maart 2018). De belangrijkste verschillen met het vorige noodplan van 2003 zijn:

- een breder toepassingsgebied,
- meer aandacht voor radiologische incidenten (die in de eerste plaats lokaal kunnen worden opgevangen, zonder direct over te gaan naar een activatie van het federaal noodplan),
- de harmonisering van de verschillende fasen van een ongeval met de internationale aanbevelingen (noodfase, transitiefase, nazorgfase),
- een nieuwe classificatie van noodsituaties,
- het feit dat het nationaal Crisiscentrum, de gouverneurs en de burgemeesters vanaf de alarmfase worden geïnformeerd (maar niet direct worden geactiveerd),
- het opsplitsen van incidentcoördinatie en -management,
- de nieuwe extensiezones,

¹⁵ MELODI : Multidisciplinary European Low Dose Initiative

- een betere omschrijving van de medische en dosimetrische opvolging van de hulpdiensten en de algemene bevolking (zowel tijdens als na de crisissituatie),
- meer aandacht voor opruimen en remediëring na het ongeval,
- meer aandacht voor de bescherming van het leefmilieu,
- economische steun in de nazorgfase,
- en tenslotte het oprichten van het CBRN-expertisecentrum.

De HGR stelt vast dat er, ondanks de vooruitgang die de laatste jaren in België is geboekt, nog veel uitdagingen zijn om de noodplannen operationeler en doeltreffender te maken op alle niveaus van de verschillende hulpdiensten. Hij benadrukt dat dit zowel geldt tijdens de exploitatieperiode van de kerncentrales als in de periode daarna. De nucleaire risico's die nog steeds aanwezig zijn, zijn immers talrijk (buitenlandse kerncentrales, terrorisme, militaire risico's, radioactief afval, enz.).

Het regeerakkoord (Koninkrijk België, 2020) voorziet in een interfederale en multidisciplinaire werkgroep om de bestaande noodplannen te evalueren en te actualiseren (energievoorziening, voedselvoorziening, voedselrampen, ozon en hitte, rusthuis, nucleair, enz.). De werkgroep moet ook nagaan welke aanvullende noodplannen opportuun zouden zijn.

De HGR verzoekt deze werkgroep zich te buigen over de volgende uitdagingen: de voorbereiding van de snelle distributie van jodiumtabletten aan de Belgische kust, met name tijdens het drukke toeristenseizoen (in het geval van een ongeval op de nucleaire site van Gravelines); evacuatie-oefeningen, met name in de regio Antwerpen; kwetsbaarheidsanalyses en evacuatieplanning (prioritaire en selectieve evacuatie van zwangere vrouwen en kinderen (zie 1.5), kwetsbare en minder mobiele groepen (zorginstellingen, ziekenhuizen, tehuisen)); voorbereiding van de langetermijnfase (kwetsbaarheidsanalyses, strategie en voorbereiding op langdurige evacuaties, psychosociale stoornissen, enz.). De HGR wijst er tevens op dat de psychosociale gevolgen van maatregelen ter bescherming tegen ioniserende straling nog niet goed zijn onderzocht en zullen worden bepaald door de omstandigheden, maar dat er rekening mee moet worden gehouden bij de besluitvorming over dergelijke maatregelen, evenals met de angstgevoelens die het gevolg kunnen zijn van een eventueel besluit om niets te doen. De basis- en voortgezette opleiding (theoretisch en vooral praktisch) van alle betrokken actoren en gezondheidswerkers (artsen, met inbegrip van huisartsen, ambulanciers, enz.) is nog steeds zeer ontoereikend. Wat betreft het feit dat meer aandacht wordt geschonken aan de medische en dosimetrische opvolging van de intervenanten, wordt dit in de handen gelegd van de arbeidsartsen, die eigenlijk een specifieke opleiding moeten hebben in de stralingsbescherming. Maar het aantal arbeidsartsen die een dergelijke opleiding hebben genoten, is beperkt. En als de opvolging van de bevolking moet gebeuren door de huisartsen, hebben ook zij hierover veel te weinig opleiding gekregen.

Hierbij moet bijzondere aandacht worden besteed aan de personeelsvoorzieningen. Door het opsplitsen van management en coördinatie is een heel groot aantal cellen en comités op heel veel verschillende niveaus ontstaan, waardoor zich de vraag stelt hoe die allemaal bevolkt gaan worden. Zeker in het geval van een grootschalig incident zal een groot aantal mensen ter plaatse nodig zijn (in ziekenhuizen, op de plaats van het incident), wat betekent dat er niet meer voldoende bruikbare expertise aanwezig zal zijn voor die verschillende cellen. De versnippering van middelen en niveaus van besluitvorming moet worden vermeden en een centrale coördinatie moet worden bevorderd.

Bovendien is het noodplan onvoldoende operationeel opgesteld, hoewel het zegt dat een aantal instanties (ziekenhuizen, civiele bescherming, ...) hun eigen plannen en analyses moeten uitwerken. Echter kwam van de Raad van State de opmerking dat er geen wettelijke grond is om aan deze instanties op te leggen dat ze hun eigen plannen, procedures en analyses moeten opmaken (advies 62.592/3, 2018). Bovendien zegt de Raad van State dat er geen voldoende wettelijk kader is waarin de Koning drastische maatregelen zoals evacuatie en relocatie van de bevolking kan opleggen.

Tot slot blijft de communicatie een belangrijke uitdaging en moet deze "in vrede" zorgvuldig worden voorbereid. Deze moet in twee richtingen werken en gestructureerd zijn. Tenslotte moet de nodige aandacht worden besteed aan crisisbeheersing op het gebied van opleiding en onderwijs.

1.7 Lessen uit de Covid-19 crisis

De coronacrisis heeft ons enkele lessen geleerd of versterkt waarmee rekening moet worden gehouden.

Het risico van een pandemie was bekend, net als het nucleaire risico, maar werd als gemakkelijk beheersbaar beschouwd. Daardoor werd er geen operationeel noodplan ontwikkeld met voldoende continue middelen en personeel om een crisis van deze omvang het hoofd te bieden.

De coronacrisis heeft ook bevestigd dat er behoefte is aan centrale coördinatie (versnippering van bevoegdheden) en een algemeen plan voor de volksgezondheid. **De HGR wijst op een bijzonder aspect dat door de gezondheidscrisis en de juridische geschillen die zich hebben voorgedaan, aan het licht is gekomen, namelijk het gebrek aan een rechtsgrondslag voor het invoeren van verplichte procedures of voor het opleggen van of het toezicht op het treffen van maatregelen die in het algemeen belang de individuele vrijheden beperken (zoals, in geval van nucleaire noodsituaties, evacuatie of herhuisvesting).**

De onvoorspelbaarheid van de evolutie van een dergelijk type crisis is moeilijk uit te leggen en de daaruit voortvloeiende continue noodzaak tot wijzigingen van de maatregelen is voor het publiek moeilijk te begrijpen en te aanvaarden. De vijand is onzichtbaar en potentieel alomtegenwoordig, maar met gevolgen die vaak niet onmiddellijk zichtbaar zijn. Deze aan verandering onderhevige situaties van onzekerheid en complexiteit leiden tot angst of ontkenning, maar ook tot wantrouwen tegenover autoriteiten en deskundigen. Dat zet de deur open voor desinformatie (vaak, zij het niet alleen, door de sociale media) en ongehoorzaamheid, die beide zeer moeilijk te beheersen zijn. Wat de pandemie betreft, zij erop gewezen dat ongehoorzaamheid vooral te maken heeft met een gebrek aan solidariteit bij de bescherming van anderen. Bij een radiologische noodsituatie zouden mensen die de instructies niet opvolgen in de eerste plaats hun eigen gezondheid in gevaar brengen.

De crisis heeft de noodzaak onderstreept om systematisch te zorgen voor interdisciplinariteit onder de deskundigen, waarbij een hiërarchische verhouding nodig blijft tussen enerzijds de beoordeling van het primaire risico aan de bron en anderzijds het beheer van de bescherming. Zowel de virologie als nucleaire veiligheid vervullen een prioritaire rol, gevolgd door respectievelijk de gezondheidsbescherming en stralingsbescherming, in beide gevallen met

ondersteuning vanuit de epidemiologie. Bovendien blijkt dat de humane wetenschappen ernstige misverstanden hadden kunnen voorkomen, bv. bij het gebruik van het begrip "essentieel" (hele bevolkingsgroepen hebben moeten horen dat wat zij doen niet essentieel is).

De kenmerken van de twee soorten risico's (die in het ene geval van biologische aard zijn en in het andere met kernsplijting te maken hebben en criticaliteit in de kernenergie) hebben de noodzaak aangetoond van een beter begrip op politiek niveau en passende communicatie o.a. voor exponentiële verschijnselen. Tot slot is een algemene les dat de nodige aandacht moet worden besteed aan crisisbeheersing (nucleair, epidemisch of andere) in de opleiding en het onderwijs.

2 Kernenergie en duurzame ontwikkeling

2.1 Historische ontwikkeling van de nucleaire industrie en duurzame ontwikkeling: de (bijgewerkte) SEPIA-studie

De historische ontwikkeling van de nucleaire industrie werd door de VUB geanalyseerd in het kader van de SEPIA-studie (*Sustainable Energy Policy Integrated Assessment* ; Eggermont & Hugé, 2011 ; Hugé et al., 2011 ; Hugé & al., 2010 ; Laes & Verbruggen, 2011)) over de duurzaamheid van energie (partim Kernenergie), die werd gefinancierd door de FOD (Federale Overheidsdienst) Wetenschapsbeleid. Deze studie, die werd uitgevoerd in samenwerking met verschillende universiteiten, werd enkele weken voor het ongeval in Fukushima gepubliceerd en waarschuwde onder meer voor het nucleair ongevalsrisico.

De studie vertrekt van de VN-Verklaring van Rio (*Verklaring inzake milieu en ontwikkeling*, 1992) en gebruikt daaruit de vijf belangrijke duurzaamheidsbeginselen: integratie, voorzorg, participatie, billijkheid en globale verantwoordelijkheid. Integratie is een verbintenis om coherent te worden in ontwikkelingen op het vlak van technologie en economie in de wereld, die op een harmonische manier met de sociale omgeving en het leefmilieu moeten gebeuren. Dit impliceert de noodzaak van een andere en bredere aanpak van de groei. Het thema voorzorg is uitgewerkt in het rapport "*Prudent Precaution*" van de Nederlandse Gezondheidsraad (GR, 2008), dat handelt over riskmanagement van complexe problemen met grote onzekerheden en waarbij een breed gamma aan waardeoordelen betrokken is. Stakeholderparticipatie is de relevante actoren betrekken d.w.z. zij die een impact kunnen hebben op de besluitvorming. Een essentieel element voor een goede governance is dat wanneer kennis gebruikt wordt voor beleidsvoering, men er de betrokkenen (die dus een gamma aan waardeoordelen hebben), d.w.z. de burgermaatschappij, bij gaat betrekken en het beleid bij deze ook aftoetst. Billijkheid is vanuit ethisch oogpunt de belangrijkste waarde. Dit is een fundamentele waarde van duurzame ontwikkeling die het fair verdelen van de voor- en nadelen van onze technologische ontwikkeling en van risico's impliceert. De doctoraatsthesis van Axel Gosseries (2000) heeft daar een sterke dimensie aan toegevoegd - door dit niet alleen intragenerationeel maar ook intergenerationeel te bekijken en dat is vooral belangrijk bij het nucleaire afval. Tot slot impliceert gezamenlijke verantwoordelijkheid een mondiale aanpak, daar wij in een geglobaliseerde wereld met een geglobaliseerde economie leven. Het eerste relevante niveau van globalisering voor België is Europa en voor de nucleaire sector is dat Euratom. Daar moet worden gekeken of de aanpak in globalisering effectief genoeg is. Een bijzonder voorbeeld is de vraag of tot een duurzame vorm van nucleair afvalbeheer kan worden gekomen als dat niet op Europees niveau wordt ontwikkeld (en geleid en gestuurd).

Deze beginselen werden geconfronteerd met de fundamentele ontwikkelingen van de verschillende nucleaire generaties (met uitzondering van generatie I, die hier niet wordt besproken omdat zij nu verleden tijd is):

- De basis van Gen II is de compacte PWR (drukwaterreactor) (duikboot van Westinghouse) die uitgroeide tot de meest succesrijke installatie voor elektriciteitsproductie.
- Generatie III (III plus) is de inherent veilige vorm van Gen II die momenteel faalt of in ernstige problemen verkeert, behalve in China (EPR en AP1000).

- Gen IV is de research naar nieuwe concepten voor inzet na 2050 die veilig zouden zijn, proliferatiebestendig en beperkte hoeveelheden afval zouden produceren.
- Generatie V heeft betrekking op kernfusie.

De studie heeft ook een transversale analyse van de sociale interactie uitgevoerd (d.w.z. de perceptie, de regelgeving, de verzekeringsaspecten, e.a.).

De methode die werd gebruikt was een clustered factors pathway-analyse van elke van deze nucleaire generaties. De onderzochte geclusterde factoren zijn de volgende:

1. **Reactortechnologie:** daar zijn de volgende factoren inherent aan: plaats van vestiging (*siting*), veiligheid (*safety*), de verlenging van de levensduur van de centrales (= *Plant Lifetime Extension* of PLE_x) en de netwerken (*grids*). België heeft bv. de eerste grote elektriciteitspanne in Europa veroorzaakt door een probleem in Doel. Bij het starten in 1982 is bijna het hele Europese net stil gevallen. Dat betekent dus dat de gridconnectie en de stabiliteit van het grid eveneens veiligheidsaspecten zijn. Op internationaal vlak zien we echter vandaag dat die netwerken totaal aan het veranderen zijn naar slimme netwerken.
2. De splijtstofcyclus (**nuclear fuel cyle**) omvat de daarbij horende industrie (plutoniumindustrie, uraniumindustrie, de mijnen), het onderzoek en de ontwikkeling ('Research and Development', R&D) en uiteraard het afval (waste).
3. De beslissende factoren (**drivers**): deze eveneens belangrijke groep omvat het technisch optimisme dat typisch de drukwaterreactor ('*Pressurized Water Reactor*', PWR) heeft gedetermineerd, het militaire aspect, de economische vooruitzichten en het kader van Euratom.
4. De **regulering**: het gaat hier niet alleen om veiligheid en gezondheid, geleidelijk aan is men bij het ICRP bezig ook op het vlak van milieu te reguleren, via dosisbeperking voor soorten flora en fauna, echter zonder al echt een milieusysteembenadering te hebben. Ook de vergunningsprocessen en de proliferatie vallen onder deze geclusterde factoren.
5. De **sociale interactie**, d.w.z. de waarden (ethiek), de perceptie, arbeidsreglementering, beroepsziekten, subsidies, crisisbeheer.

Een pathway¹⁶ is de verbinding, de lijn die kan worden getrokken tussen twee situaties op verschillende tijdstippen. Deze bestaat ook uit elementen die vorm krijgen door factoren. Deze elementen zijn de politieke keuzes: dat is waar we nu voor staan, de uitstap uit de kernenergie, events (ongevallen), financiering, gedrag.

Om tot een visie op duurzaamheid te komen is een gedegen kennis nodig van de sociale, economische, culturele, technische en ontwikkelingscontext en uiteraard van de context waarin zich kansen en uitdagingen voordoen (dat is de definitie zelf van strategisch denken).

¹⁶ « A pathway in the SEPIA context connects a particular vision on a “sustainable” energy future with the current situation by establishing the social, institutional, cultural, technological and economic developments necessary to achieve that vision. » (Eggermont & Hugé 2011 : 12)

2.1.1 De kern van een belangrijke pathway: de keuze van de PWR voor de elektriciteitsopwekking

De keuze van de PWR, de drukwaterreactor (de huidige productiereactoren in België) is een pathway voor de opwekking van elektriciteit door kerncentrales (elektriciteitsopwekking uit kernenergie). Het gaat hier om de technologie uit de atoomduikboten die Westinghouse met succes op de markt heeft gebracht en die de Europese technologie van de koolstofreactoren heeft weggedrukt. Indertijd, in de jaren 1950-60, leefde men in een sfeer van de 'alles elektriciteit'-maatschappij. Dat was de aankondiging van Eisenhower: goedkope, bijna gratis elektriciteit. In die zin is ook de eerste nucleaire ontwikkeling gebeurd: alles draaide rond elektriciteit (elektrische verwarming enz.) maar ook rond de nieuwe kernparken. Gravelines, met zijn 6 reactoren en de gigantische aluminium- en staalindustrie daarrond, is daar een voorbeeld van. Een ander is de Antwerpse petrochemie: dat is één van de grootste petrochemie clusters ter wereld met een enorme elektriciteitsbehoefte. Al dat was typisch voor het energieconcept van toen.

België stond voor de keuze tussen 2 splijtstofcyclussen. De Amerikanen, Zweden en Finnen hebben voor de opslag van verbruikte splijtstof (*spent fuel storage*) gekozen, België ging zoals Frankrijk voor opwerking (*reprocessing*), maar aarzelt nog altijd wat er nu mee te doen. Er werd in België met succes plutonium splijtstof (mixed oxide fuel, MOx) ontwikkeld en de oorspronkelijke bedoeling was dat de kweekreactor het zou overnemen na enkele decennia. Door herhaalde recyclage via opwerking zou met PWR's voldoende MOx kunnen worden geproduceerd, die eerst in PWR's zou worden gebruikt, dan in kweekreactoren om ongeveer 50% efficiëntie van de grondstof te halen, terwijl er nu per cyclus maar 1-2% procent van de uranium effectief wordt gebruikt. Dat was het beeld van toen.

België had ook een ambitieuze industriële toekomstvisie. Het SCK CEN werd opgericht, heeft zich sterk ontwikkeld en is nog steeds een wereldautoriteit De splijtstofindustrie in de Kempen was uniek met het prototype van de opwerkingsfabriek Eurochemic van de OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) en met een uranium- en plutoniumfabriek naast de deur. Maar de nodige institutionele hervormingen werden te lang uitgesteld. Zo werd er te laat een bevoegde instantie voor afval opgericht. Toen de Commissie van Wijzen¹⁷ tijdens de eerste protestbeweging¹⁸ in 1976 de kernenergieplannen onderzocht, stelde zij vast dat er geen aanpak van het afval was. Toen lanceerde de secretaris-generaal van het Ministerie van Economische Zaken, de heer Baeyens, die toen ook voorzitter was van het SCK CEN, de studie over geologische berging. Deze studies, die 45 jaar geleden begonnen zijn, zijn nog niet afgesloten. NIRAS werd een afzonderlijke instelling na het Transnuklear-afvalschandaal in Mol (1987) en, in tegenstelling tot het CEA in Frankrijk, werd het onderzoek op het gebied van niet-nucleaire energie en milieu vervolgens gescheiden en toevertrouwd aan VITO (*Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek*).

Het SCK CEN werd dus opgesplitst en de veiligheidscontrole van Corapro werd samengevoegd met die van Vinçotte Nucléaire, nadat het IRE een gelijkaardige ontwikkeling had doorgemaakt voor medische isotopen. Het duurde door politieke en industriële weerstand nog lang, namelijk 20 jaar, vooraleer de regulator, het FANC, operationeel werd. In 1994 verscheen dan de wet die aan het FANC zijn wettelijke taken toekent en deze instelling groeide geleidelijk van een organisatie met een tiental werknemers verdeeld over twee administraties (Volksgezondheid en Werk) en het nucleaire gedeelte van het huidige

¹⁷ Commissie van beraad inzake kernenergie.

¹⁸ Start van de controverse rond kernenergie in België

Sciensano (IHE of Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie) tot 150 werknemers vandaag. Daarentegen had Finland al heel vroeg een sterk afvalagentschap en een sterke regulator, een regulator die in staat was de EPR van de France reus AREVA aan condities en aan toezicht te onderwerpen. In tegenstelling tot België, dat de institutionele hervormingen heeft uitgesteld, is er in Finland geen nucleaire contestatie maar vertrouwen in een sterke overheid.

Uit de historische analyse blijkt dat België Eurochemic¹⁹ heeft gebouwd, maar dat de volledige ontmanteling door de belastingbetaler moest worden betaald. België heeft een nucleaire elektriciteitsproductie gecentraliseerd aan rivieren, waarvoor zeer grote koelcapaciteiten nodig zijn, en dat begint te wegen, bv. op de Maas. Er bestaat een overeenkomst tussen België en Frankrijk om de productie in Chooz te verminderen wanneer het debiet van de Maas te laag is (decreet van 30 oktober 1998)²⁰. Zelfs centrales aan de (ondiepe) Baltische Zee hebben moeten reduceren in capaciteit, ook in Duitsland. Vooral op de Loire met zijn 12 kernreactoren heeft men al productieverlagingen moeten doen, zoals gemeld door de ASN (ASN 2017). Waterproblemen zijn snel te vrezen en dat is iets waar Ricardo Petrella tien jaar geleden al op wees voor elke vorm van grootschalige elektriciteitsproductie.

In een dergelijke visie op PWR 's waren er uiteraard ook evoluties. In Chooz werd met medewerking van België een ondergrondse reactor gebouwd, maar deze bleek te duur en loosde te veel tritium in de Maas. Dan kwam er een watergekoelde snelleweekreactor ('*Fast Breeder Reactor*', FBR) in Kalkar (Duitsland; nooit opgestart, met Belgische Mox-splijtstof), Phénix en later Superphénix (Frankrijk). Voor dit jaar was een nieuw project gepland in Frankrijk, de prototypereactor ASTRID (*Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*), maar dit project werd om financiële redenen twee jaar geleden stopgezet. MYRRHA is daar een zijpiste van.

België heeft zich vooral op PLEx geconcentreerd omdat er geen ruimte bleek te zijn voor nieuwe reactoren nadat men afzag van Doel 5 in 1988, na het ongeval in Tsjernobyl.

De EPR werd onder Duitse druk ontwikkeld om een inherent veilige reactor te hebben, maar is tot dusver een economische en technische mislukking gebleken, behalve in China. De Duitse nucleaire industrie raakte in een internationaal juridisch geschil verwikkeld met de Franse.

Nu is de piste PWR's voor kleine modulaire reactoren weer in de running ('*Small Modular Reactors*', SMR's), een piste die in Canada en de Verenigde Staten en nu ook in Engeland succes krijgt en waar Frankrijk te laat aan begon. Rolls Royce investeert in het Verenigd Koninkrijk in SMR's en zou zelfs in een gemengde wind-EPR reactor van maximum 400 Megawatt voorzien, die ook aan waterstof zou gekoppeld worden. Na de mislukking van Toshiba-Engie en Hitachi in het Verenigd Koninkrijk, waar alleen EDF nu voortdoet met de Chinezen, is dat misschien een piste die aanvullend kans maakt.

¹⁹ Pilootopwerkingsfabriek waar verbruikte splijtstof zou worden opgewerkt voor verschillende deelnemende staten. De fabriek werd echter in 1974 gesloten naar aanleiding van uiteenlopende belangen, hoge werkingskosten en het bouwen van opwerkingsfabrieken in deelnemende landen (bv. La Hague in Frankrijk). De Belgische Staat, die eigenaar werd van de fabriek, stond daarna in voor de ontmantelingskosten.

²⁰ Zie ook: Antwoord van A. Turtelboom op vraag nr. 4707 van G. Gilkinet CRIV 53. Commissie voor de Binnenlandse Zaken 2010-2011. Zitting van 18 mei 2011. P.7-8.

In de SEPIA-studie werd in 2011 geconcludeerd dat, om tot duurzame kernenergie te komen, SMR's een kans maken. Het perspectief berust echter op de totale energieconcepten van de kleine hogetemperatuurreactoren die ook kunnen worden gebruikt voor waterstof en proceswarmte zonder al te veel risico's, vooral met betrekking tot ongelukken.

2.1.2 Overzicht van de resultaten van de 'clustered pathway'-analyse van nucleaire ontwikkelingen in termen van duurzaamheid

Wat betreft de PWR (Gen II) bleek vooral dat het aspect van de keuze van de site werd verwaarloosd. De eerste 7 reactoren werden na bestelling in 1966 vrij snel gebouwd. En bij de Commissie der Wijzen was er sprake om er nog 16-17 bij te bouwen, tot in 1976 bleek dat dit enkel op kerneilanden voor de kust kon. Toen kwamen de vestigingsdiscussie en de vestigingscriteria op tafel en sindsdien werd geen nieuwe site meer gebouwd. En dan pas startte het **afvalbeheer**.

Uit deze bevindingen kunnen veel lessen worden getrokken: er was geen totale, geïntegreerde, geglobaliseerde aanpak. En hoewel het Euratom-verdrag sterk focuste op stralingsbescherming, moest het zich onder druk van de 2 kernwapenstaten buiten de splijtstofcyclus houden, en er zijn nog steeds geen uniforme normen voor nieuwe kernreactoren. Het militaire aspect bleef een schaduwzijde, met de banden tussen de nucleaire industrie en kernwapens. Tot slot is reeds gewezen op het risico van ongevallen met ernstige gevolgen.

De nieuwe generatie reactoren (PWR Gen III + EPR), die voor deze decennia waren gepland, is een echte mislukking. Volgens de laatste cijfers van de *Financial Times* bedragen de kosten voor de EPR (dus Gen III + de EPR in Engeland) 14 miljard euro (tegenover oorspronkelijk 3,5 miljard): de reactor in Olkiluoto is nog altijd niet af en de inbedrijfstelling ervan is uitgesteld tot 2022, Flamanville wordt geplaagd door ernstige problemen, met name op het gebied van de kwaliteitscontrole. In Engeland (Hinkley Point C) is er een gegarandeerde prijs, dus de Engelse consument gaat betalen maar de prijs daar is nu het drievoudige van de prijs van de laatste windturbines in de Noordzee. Een belangrijke oorzaak van deze mislukking is dat de Franse nucleaire industrie in ruzie is gevallen met Siemens (en dus met de Duitse nucleaire industrie). Toen Duitsland in 2011 uit de kernenergiesector stapte, had Siemens de nucleaire industrie al verlaten (met uitzondering van het conventionele deel van Olkiluoto, dat op tijd klaar was). De (ethisch gerechtvaardigde) uitstap uit kernenergie in Duitsland werd vergemakkelijkt door het feit dat Angela Merkel de steun had van Siemens en de Duitse industrie voor een geheel nieuwe industriële strategie ("die Energiewende") gebaseerd op hernieuwbare energiebronnen en energiebesparing. De EPR in Olkiluoto heeft momenteel meer dan 10 jaar vertraging. De Franse nucleaire industrie is geherstructureerd, ook door de kosten van Olkiluoto, maar er is nog altijd geen EPR. China daarentegen is er al meer dan een jaar in geslaagd zowel een Westinghouse-reactor, de AP1000, als twee EPR-reactoren te exploiteren. Er zij evenwel op gewezen dat het aandeel van kernenergie in China 4% bedraagt en dat China als grootste ambitie heeft 15% te bereiken.

De generatie Gen IV ligt in het verschiet voor 2050 en zal hoofdzakelijk worden bepaald door de grote mogelijkheden.

Fusie (Gen V) wordt in de studie niet verder besproken.

2.1.3 Antwoorden op onderzoeksvragen

In de studie waren er ook een aantal onderzoeksvragen:

1. Kan kernenergie een bescheiden bijdrage leveren aan de beheersing van de klimaatverandering zonder de vraag naar hernieuwbare energie te beïnvloeden? Hierop was het antwoord “niet noodzakelijk”. Het kan, maar niet als kernenergie de energie-efficiëntie verlaagt zoals met elektrische verwarming en het verbruik aanmoedigt. Het probleem is dat 2/3 van de energie uiteindelijk verloren gaat in de koeltorens. Men is er niet in geslaagd om de stadsverwarming aan de kerncentrales te koppelen. In de toekomst zal een totaal energieconcept nodig zijn.
2. Kan de nucleaire sector nog op een democratische manier worden beheerd? In de studie wordt geconcludeerd dat het momenteel zeer moeilijk zou zijn om, in een context van politieke belangen en lobby's, de ontwikkeling van kernenergie te sturen op een wijze die verenigbaar is met duurzame ontwikkeling.
3. Welke zijn de uitdagingen voor de nucleaire sector om te voldoen aan de beginselen van duurzame ontwikkeling? De nucleaire sector moet alle beginselen van integratie, voorzorg, billijkheid, betrokkenheid van de belanghebbenden en globale verantwoordelijkheid toepassen, niet alleen die met betrekking tot het klimaat.
4. Zijn nucleair afval, reactorrisico en proliferatie de grootste uitdagingen? Volgens de studie blijven deze drie factoren, zelfs in toenemende mate, van invloed op de aanvaardbaarheid van kernenergie, althans zolang niet is voldaan aan de voorwaarden voor billijkheid op lange termijn. Hierbij dient opgemerkt dat twee weken na de studie het kernongeval van Fukushima plaatsvond en het afval van het kernongeval werd toegevoegd.
5. Wat zijn de uitdagingen en onzekerheden op gezondheidsgebied? De studie identificeert alleen genetische vatbaarheid en niet-kankereffecten.
6. Zijn de basishoudingen inzake stralingsbescherming voldoende om het milieu te beschermen, zoals vereist door duurzame ontwikkeling? De studie antwoordt dat dit niet het geval is, aangezien de normen in wezen antropocentrisch blijven en de uitbreiding tot geselecteerde dier- en plantensoorten geen ecosysteembenadering is.

2.1.4 Conclusie en bijwerking

Over het geheel genomen is het Sepia-rapport "Nuclear Energy Governance" dus nogal pessimistisch over de duurzaamheid van kernenergie. De **belangrijkste uitdagingen** voor de verenigbaarheid van kernenergie met de beginselen van **duurzame ontwikkeling die in 2011 in deze studie zijn vastgesteld, gelden nog steeds in 2021**. Deze omvatten het volgende:

- Het risico op ongelukken is reëel, zoals het ongeluk in Fukushima heeft aangetoond. De HGR bracht in 2016 een advies uit dat over veel meer ging dan noodplanning en ook een beoordeling bevatte van de lessen die uit het ongeval in Fukushima kunnen worden getrokken (HGR 9235, 2016).
- Er moet opnieuw worden nagedacht over de schaal (grote gecentraliseerde eenheden) en de (ongunstige) energie-efficiëntie van de opwekking van kernenergie. Als er met het nucleaire wordt verdergegaan, moet men in de toekomst overschakelen naar kleine reactoren.

- Transparantie en aansprakelijkheid (liability): er zijn opnieuw fouten gemaakt op dit vlak, ook in de Wetenschappelijke Raad van het FANC, doordat geen milieueffectrapportage (MER) werd opgelegd bij de levensduurverlenging. Naar aanleiding hiervan heeft het Europees Hof van Justitie (arrest C-411/17) en het Grondwettelijk Hof (arrest 34/2020) België veroordeeld. Er moet nog in 2022 een MER komen voor Doel 1 en 2. Dat wordt ook de grootste uitdaging voor Doel 4 en Tihange 3 (de enige reactoren waarover de discussies over de uitstap uit de kernenergie over gaan) die nu van de Europese rechtspraak aan een internationale MER moeten worden onderworpen.
- Billijkheid binnen en tussen generaties: deze uitdagingen doen zich nog steeds voor op het niveau van nucleair afval, met inbegrip van financiering en berging: 1,5 miljard is voorzien voor de oppervlakteberging en momenteel 11,2 miljard voor de diepgeologische berging. Het overgrote deel van deze kosten moet worden gefinancierd uit het door SYNATOM beheerde nucleaire voorzieningsfonds, terwijl een groot deel van dit fonds aan Electrabel (Engie-groep) is geleend, zoals bij de wet van 2003 is toegestaan. Voor de financiering van de definitieve berging blijft dan ook de kwestie van de terugbetaling van deze lening en dus van de beschikbaarheid van hetgeen door de Belgische consument is gefinancierd. Dit transgenerationeel risico zou een herziening van de wet van 2003 en de invoering van garanties kunnen vereisen, zoals vermeld door Luc Dufresne, de voorzitter van de Commissie voor Nucleaire Voorzieningen (programma Investigation van 11/12/2020, La Une), die met de BNB en NIRAS deze nucleaire voorzieningen controleert (CNV, 2020). Zolang geologische bergingsoplossingen alleen op nationaal niveau worden overwogen, zonder de internationale financiële verantwoordelijkheden te garanderen, kan de duurzaamheid ervan niet worden gegarandeerd.
- Ook met de kwetsbaarheid moet rekening worden gehouden. Die kwetsbaarheid moet in aanmerking worden genomen bij de beoordeling van de risico's van een nucleair ongeval, maar moet ruimer worden opgevat en ook het militaire aspect omvatten.

2.2 Kernenergie, klimaatverandering en wereldwijde duurzame ontwikkeling: benadering van het IPCC

In zijn evaluatierapport over de beperking van de klimaatverandering van 2014 (IPCC, 2014), schat het IPCC dat scenario's die op wereldniveau de doelstelling van ongeveer 450 ppm CO_{2eq} tegen het jaar 2050 halen, worden gekenmerkt door snellere verbeteringen van de energie-efficiëntie en een verdrie- en bijna verviervoudiging van het aandeel koolstofvrije energievoorziening of koolstofarme energie uit hernieuwbare energiebronnen, kernenergie en fossiele energie of bio-energie met CO₂-afvang en -opslag. In het verslag wordt echter ook gewezen op een reeks belemmeringen en risico's in verband met kernenergie: operationele risico's en daarmee samenhangende bezorgdheid, risico's in verband met uraniummijnen, financiële en regelgevingsrisico's, onopgeloste afvalbeheerkwesties, bezorgdheid over de proliferatie van kernwapens en een vijandige publieke opinie. In de technische samenvatting van het rapport wordt benadrukt dat scenario's voor het beperken van de klimaatverandering die de 580 ppm CO_{2eq} niet overschrijden, aantonen dat indien kernenergie uit de portefeuille van beschikbare technologieën zou worden uitgesloten, dit slechts voor een kleine toename van de beperkingskosten in vergelijking met de totale technologieportefeuille zou zorgen.

In zijn evaluatieverslag van 2018 (IPCC, 2018) over de gevolgen van een klimaatverandering die beperkt blijft tot 1,5°C (ten opzichte van het pre-industriële tijdperk), raamt het IPCC dat hernieuwbare energie in 2050 70-85% van de elektriciteit zou moeten leveren. In de meeste scenario's wordt uitgegaan van een toename van het aandeel van kernenergie en fossiele brandstoffen met CO₂-afvang en -opslag (*Carbon Capture and Storage* - CCS).

Volgens het *Global Sustainable Development Report* van 2019 (kader 2-28, United Nations, 2019) wijzen de waargenomen tendensen erop dat het concurrentievermogen van hernieuwbare energie weldra geleidelijk groter zal worden dan dat van kernenergie, onder meer als gevolg van de hogere kosten van veiligheidsmaatregelen. In het verslag wordt ook opgemerkt dat slechts een klein deel van het nucleair ongevalrisico door verzekeringsmaatschappijen wordt gedekt; de rest komt voor rekening van de staten. Bij wijze van conclusie stellen de auteurs dat de huidige kerncentrales de uitstoot van broeikasgassen hebben verminderd en alleen mogen worden ontmanteld na zorgvuldige planning. Dit om te voorkomen dat ze zouden worden vervangen door nieuwe centrales die fossiele brandstoffen gebruiken. Maar het rapport concludeert ook dat het bouwen van nieuwe kerncentrales steeds moeilijker te rechtvaardigen lijkt, gezien de kosten die daarmee gepaard gaan en de dalende kosten van hernieuwbare energie en energieopslagcapaciteit.

Tot slot heeft het IPCC op 9 augustus 2021 het eerste deel van zijn zesde beoordelingsrapport gepubliceerd (*Assessment Report 6, "Climate change 2021: the physical science basis"* – IPCC, 2021). In dit rapport, waarvan het opstellen in 2017-2018 van start is gegaan, is de meest recente en uitgebreide wetenschappelijke kennis over het klimaatsysteem en de klimaatverandering tot nu toe samengebracht. De belangrijkste conclusies van dit rapport zijn dat de invloed van de mens op het klimaatsysteem nu wetenschappelijk is vastgesteld en dat de opwarming tegen 2050 in alle beschouwde scenario's zal toenemen en in de loop van de 21e eeuw meer dan 1,5°C of zelfs 2°C zal bedragen, tenzij de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen in de komende decennia aanzienlijk wordt verminderd.

2.3 Ethiek, ecologie en voorzorg: bijdrage aan een ethische analyse van de kerntechnologie

De HGR heeft de ethische aspecten van nucleaire technologie beoordeeld aan de hand van een analyse in drie stappen: de algemene vraag naar de relatie tussen de ethische benadering en de hedendaagse maatschappij, de veranderingen in de relatie mens-natuur-technologie die het einde van de 20e eeuw kenmerken en ten slotte een nauwkeuriger beschouwing over de ethische vraagstukken in verband met de technologie van kerncentrales.

2.3.1 *Ethiek en samenleving*

Ethiek is het deel van de filosofie dat gewijd is aan de criteria van een goede actie. Over elk van onze acties kunnen we immers de vraag stellen of ze goed en slecht is. Met andere woorden: elk van onze acties heeft een ethische dimensie. Die vraag geldt overigens zowel voor acties door individuele personen als op structureel niveau. Zo zou men het idee kunnen verdedigen dat de gezondheidszorg in België ethischer is georganiseerd dan in de VS. Maar dan kan men zich meteen twee vragen stellen: op welke basis kan men zoiets beweren en wie beslist wat ethisch is?

Het antwoord op beide vragen is in de loop van de tweede helft van de 20e eeuw ingrijpend geëvolueerd. Terwijl ethiek in de middeleeuwen het alleenrecht was van het religieuze discours, ontwikkelde zich vanaf de 17e-18e eeuw en dan meer bepaald sinds Kant, een ethische benadering waarbij werd aangevoerd dat de mens door zijn **rede** in staat is om ethisch te handelen. Die benadering wordt in de 20e-21e eeuw voortgezet met post-kantiaanse filosofen zoals Habermas, die beweren dat het juist dankzij de rede is dat mensen het met elkaar eens kunnen worden dankzij de discussie (discoursethiek). Volgens deze rationele logica zou iedereen het echter over alles eens zijn, wat niet het geval is. Daarom verdedigt Habermas (1992) het idee dat ethiek in twee delen uiteenvalt.

- Daarbij zijn de **gedeelde waarden** de waarden die na discours het voorwerp uitmaken van een consensus. Dit betekent dat er een soort gemeenschappelijke ethiek, universele waarden bestaan, die voortvloeien uit de discoursethiek. In onze cultuur zijn de mensenrechten een soort gedeelde referentie. In die context wordt de Universele Verklaring van de Rechten van de Mens die (VN, 1948) beschouwd als een ethisch charter dat de mensheid zichzelf oplegt.
- Het concept van een **goed leven** verwijst naar de specifieke eigenschappen van elke cultuur en van elke individuele persoon. In de context van de gedeelde waarden wordt het **respect voor de specifieke eigenschappen van elk**, of m.a.w. de gewetensvrijheid, de vrijheid van meningsuiting, de vrijheid van gedachte, de vrijheid om een godsdienst te belijden in overeenstemming met de rechten van de mens, door de Universele Verklaring gewaarborgd.

Het post-kantiaanse standpunt leidt dus enerzijds tot de bevestiging van een universele ethiek (de Mensenrechten) en de eis tot respect voor bijzondere vormen van ethiek, die verenigbaar zijn met die Mensenrechten. Een dergelijke ethiek past dus in de visie van een universeel dat verenigbaar is met het behoud van een culturele diversiteit.

Na de tweede wereldoorlog en de processen van Neurenberg is geleidelijk aan het concept van **bio-ethiek** gegroeid. Tijdens dat proces veroordeelt een universalistische ethiek van het type mensenrechten een specifieke ethiek, de nazi-ethiek. Dat is vooral belangrijk voor de kwestie van medische experimenten op mensen, die sterk zullen worden veroordeeld. Die problematiek van de experimenten zal zich zeer sterk ontwikkelen - en dan meer bepaald toen bekend raakte dat in de VS in de loop van de jaren vijftig van de vorige eeuw een groot aantal experimenten met geneesmiddelen bij bepaalde bevolkingsgroepen (en dan meer bepaald gevangenen) werden uitgevoerd, zonder dat zij dat wisten. Die problematiek van experimenten op mensen en de opschudding die dit veroorzaakte, vormden de basis voor belangrijke werken bij de *World Medical Association*, die uiteindelijk leidden tot de *Verklaring van Helsinki* in 1964 (WMA, 1964). Daarnaast zijn er de wetenschappelijke verenigingen die tijdens de conferentie van Asilomar in 1975 protocollen voorstelden om het onderzoek in de moleculaire biologie over genetische manipulatie van bacteriën te omkaderen. De historische evolutie toont aan dat technologie steeds vaker in haar geheel wordt beschouwd. Zo werd in 1983 in Frankrijk het Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé opgericht. Interessant aan dit initiatief is het feit dat dit werkelijk een raad is waarin **vertegenwoordigers van de burgermaatschappij** worden samengebracht en dat daarbij alle activiteiten op het vlak van de levenswetenschappen en gezondheid worden beschouwd. Die plaats van de ethiek in de samenleving is vervolgens uitgebreid in de universiteiten, waar leerstoelen zijn in het leven geroepen over de ethiek van het economische leven (zoals de Chaire Hoover voor economische en sociale ethiek aan de UCLouvain). Terwijl in 1950 geld

niet 'stonk' en economie duidelijk los stond van ethiek, zijn ethische vragen sinds het einde van de 20ste eeuw ook in het economische leven aan een sterke opmars begonnen. De euthanasiewet die in 2002 in België werd goedgekeurd (Koninkrijk België, 2002), past in dezelfde evolutie van de bewustwording van de ethische dimensie in de samenleving zelf. We merken dus enerzijds de toename van het belang van ethiek in het sociale leven, in interactie met de wetenschappelijke en technologische evolutie en met de economische dynamiek, en anderzijds een echte geleidelijke toe-eigening van ethiek door de burgermaatschappij.

Die vaststellingen worden in bepaalde **institutionele structuren weerspiegeld**. Zo telt de UNESCO vier instanties die actief zijn in de ethische sector: het IBC (*International Bioethics Committee*) en de COMEST, die comités van experts zijn, het IGBC (*Intergovernmental Bioethics Committee*), een comité van vertegenwoordigers van de regeringen, en de Algemene Conferentie, de conferentie van alle ambassadeurs bij de UNESCO. De experts zijn afkomstig uit de burgermaatschappij en worden gekozen op basis van hun competenties. Binnen het IBC en de COMEST stellen ze teksten op, die vervolgens aan het IGBC ter discussie worden voorgelegd. De eindteksten ten slotte worden aan de Algemene Conferentie (de conferentie van de ambassadeurs) voorgelegd, die de teksten goedkeurt.

Terwijl hierbij in het verleden vooral een logica van vertegenwoordiging werd gehanteerd, wordt momenteel een discoursethiek toegepast waarbij naar alle burgers wordt verwezen, maar waarbij uiteindelijk de politieke vertegenwoordigers in een democratische logica worden betrokken. Daaruit kan men afleiden dat we hier te maken hebben met een wijziging van het concept van democratie zelf.

2.3.2 Verhoudingen mens-natuur-technologie

Het concept 'duurzame ontwikkeling' is het gevolg van de grondige wijziging van de verhoudingen van de mens met de natuur en de technologie vanaf het einde van de 20e eeuw - en dan vooral op het vlak van de problematiek van kernenergie. In onze cultuur bestaan er vier manieren om de verhoudingen tussen mens en natuur te kenmerken.

A. Cartesiaanse verhouding tot de natuur

In de 17e eeuw ontstond een nieuwe verhouding met de natuur op basis van de werken van Galileo Galilei en Descartes. Die verhouding, die tot het einde van de jaren zestig van de vorige eeuw dominant zou blijven, is gebaseerd op het onderscheid **onderwerp-voorwerp**. Uit de vaststelling dat een levend wezen zelf kon worden geanalyseerd in machinieke termen (m.a.w. als een materieel systeem dat op een gecompliceerde manier is georganiseerd) is het concept van dier-machine geboren. Daar tegenover staat het menselijke wezen, dat weliswaar ook een (machiniek) voorwerp-lichaam heeft, maar ook een ziel. En het is in naam van die ziel, die van het menselijke wezen de enige respectabele instantie maakt, dat de mens buiten de natuur staat en die natuur ook domineert. De natuur wordt daarbij beschouwd als een systeem van voorwerpen dat ter beschikking staat van de mens. Er is geen enkel concept van respectabiliteit van de natuur en het dier zelf is niet respectabel.

B. De wetenschappelijke ecologie

Het concept ecosysteem dateert van 1935 (Tansley), maar wordt pas vanaf 1970 ernstig genomen met het rapport van de Club van Rome en het rapport Meadows, dat in het Nederlands de titel kreeg '*De grenzen aan de groei*' (Meadows, 1972). Net als in de cartesiaanse verhouding tot de natuur blijft men ook hier het onderscheid maken tussen

onderwerp en voorwerp. De mens bevindt zich zowel binnen het ecosysteem, maar staat ook buiten het ecosysteem, dat hij beheert (**participatie**). Toch zou het duren tot de **ontdekking dat voorraden eindig zijn** voordat op dit vlak een grondige wijziging zou plaatsvinden: dit betreft niet alleen de voorraden die aan de basis liggen van de menselijke activiteiten (fossiele energie, landbouw, drinkwater, problematiek van de erts en enz.), maar ook de voorraden die voortvloeien uit de menselijke activiteiten, zoals de hele problematiek van verontreinigingen (van zoet water, zeewater, kunststof, pH enz.). De problematiek van het klimaat is slechts één bijzonder bewijs dat onze activiteiten een impact hebben op de atmosfeer, evenals de biodiversiteit die ook wijst op de leefbaarheid van een ecosysteem.

Maar naast de verhouding met het milieu leidt de introductie van de wetenschappelijke ecologie in het debat tot een grondige wijziging van het onderscheid tussen menswetenschappen en natuurwetenschappen. Doordat de mens een element van het ecosysteem vormt, betekent dit dat de wetenschappelijke ecologie raakpunten heeft met de sociale organisatie. Deze vormen de verbinding tussen de natuurwetenschappen en de menswetenschappen.

Een andere ingrijpende culturele verandering betreft **de verhouding ten opzichte van de wetenschap en de technologische innovatie**. Vóór 1970 werd elke wetenschappelijke innovatie als een goede zaak voor de volledige mensheid beschouwd. Die verhouding ten opzichte van de wetenschap zal echter fundamenteel veranderen. Belangrijk in dit verband is het feit dat de ecologische problemen (ozonlaag enz.) die door de technologische innovaties worden veroorzaakt, meestal door de wetenschappers zelf worden ontdekt. Wetenschap speelt daardoor niet alleen de rol van bewaker (die het probleem ontdekt), maar ligt vaak ook aan de basis van het probleem en vindt daar ook een oplossing voor. Dit betekent echter dat men niet langer een naïef vertrouwen in technologische innovatie heeft, maar dat men daarentegen een **kritische houding** of zelfs een **kritisch vertrouwen** aanneemt. Dit is een grondige wijziging van de houding van de mens ten opzichte van wetenschap en vooruitgang. Het concept van vooruitgang dateert overigens hoofdzakelijk uit de 18e eeuw met de werken van Condorcet. Merk op dat de debatten in het kader van de campagne voor de Franse presidentsverkiezingen tussen Sarkozy en Hollande in 2013 de eerste zijn waarin het concept vooruitgang niet werd uitgesproken.

Ook de **verhoudingen ten opzichte van de tijd (de toekomstige generaties) en de ruimte** ondergingen een grondige verandering. In ecologische termen wordt de ruimte van een probleem door de aard van het probleem zelf bepaald. Politieke grenzen hebben dan ook niets te maken met de ecologische problematiek. Als we bijvoorbeeld aandacht willen besteden aan de kwaliteit van het water van de Maas aan zijn monding in Nederland, moeten we rekening houden met het volledige stroomgebied, d.w.z. het verloop van de rivier in Frankrijk, in België en in Nederland, naast de interactie met het water uit de Rijn, dat op het einde van de waterloop een rol speelt. En dan spreken we nog niet eens over het Donauebekken. Als we de kwaliteit van de lucht en het klimaat willen beschouwen, is de volledige Aarde de geografische eenheid die de basis vormt. Er moet dus met het ecosysteem Aarde in zijn geheel worden rekening gehouden, zodat het universalistische standpunt de enige realistische manier is om de zaken aan te pakken.

Het concept van respect voor de natuur krijgt dan zin en wel precies omdat de duurzaamheid de manier is waarop de wetenschappelijke ecologie het respect voor de natuur weergeeft. Daarbij wordt dus rekening gehouden met de structurele beperkingen van het milieu. En worden onze levenswijzen in vraag gesteld en komt de problematiek van de ecologische transitie in de kijker.

C. Ecogecentreerde metafysica

Veel filosofen menen dat de wetenschappelijke ecologie de verhouding met de natuur verandert, maar dat ze niet ver genoeg gaat. Het komt erop aan om de kritische beschouwing van de invraagstelling van de cartesische verhouding nog verder door te drijven. In die context maken we een onderscheid tussen twee bewegingen. Volgens de eerste - de diepe ecologie - verliezen de wetenschappelijke ecologen de essentie uit het oog, namelijk de verhouding ten opzichte van de natuur wegens de vermeende superioriteit die de mens zichzelf toedicht. Het is daarom belangrijk om terug te keren naar een soort versmelting met de natuur: dit is het afwijzen van het antropocentrisme (de ethische superioriteit van de mens) en het antropogenisme (de mens acht zichzelf in staat om een ethiek voor zichzelf vast te leggen).

De tweede benadering daarentegen zou kunnen worden omschreven als radicaal ecologisme. Volgens de 'Gaia'-hypothese van Lovelock (1979) moet de Aarde niet als een ecosysteem, maar als een organisme worden beschouwd. Maar als de Aarde een organisme is, dan is de menselijke soort een weefsel van dat organisme - net als de andere diersoorten. Op die manier verliest de mens zijn status van superieur wezen in de dierenwereld. Bovendien wordt de menselijke soort door zijn abnormale ontwikkeling die ten koste gaat van de andere soorten, beschouwd als een gevaarlijk weefsel of zelfs een echte kanker die het evenwicht van het organisme in gevaar brengt!

Beide standpunten, die zeer ver uit elkaar liggen op conceptueel vlak, hebben met elkaar gemeen dat ze het specifieke karakter van de status van de mens in de natuur in vraag stellen.

D. Meer dan functioneel

In de vierde verhouding behoudt de moderne positie het **primaat van de subjectiviteit** (bevoorrechte plaats van de mens ten opzichte van de natuur), maar biedt ze wel de mogelijkheid om verder te gaan dan de eenvoudige utilitaristische relatie in de verhoudingen tot het milieu en het dier. De **neurowetenschappen** herstellen de status van het dier, omdat er sprake is van een **dierlijk bewustzijn**. De cartesische vooronderstelling, met een radicale loskoppeling tussen menselijk en niet-menselijk, wordt dus omgekeerd. Voor een neurowetenschapper is er dus geen verschillende ziel in het lichaam, maar is er wel een geleidelijke opkomst van het bewustzijn in de loop van de fylogenese. Op een zekere manier plaatst deze visie ons terug in de dierlijkheid en verzoent ons daarmee. We volgen hierbij een logica van naturalisatie van het bewustzijn, die echter niet tegen de specificiteit van de mens ingaat. Het continue proces van de evolutie van de soorten is verenigbaar met de verschijning van drempelwaarden waarmee een onderscheid kan worden gemaakt tussen het menselijke bewustzijn dat verbonden is met een uitgesproken taal en het dierlijke bewustzijn dat vooral verbonden is met memorisatieprocessen.

In de verhouding met de natuur in de brede betekenis van het woord wordt dat gedrag van **uitgebreide moderniteit** gekenmerkt door aandacht voor de esthetische dimensie van de natuur - esthetiek in de brede betekenis van bewonderenswaardige realisatie. Elke diersoort heeft iets bewonderenswaardig ... Films, televisieprogramma's en publicaties over de natuur hebben ten doel om ons te tonen dat de natuur mooi is en daardoor respectabel voor wat ze is en niet alleen omdat ze nuttig is voor ons. Het is dus mogelijk om de natuur te respecteren om wat ze is zonder dat we daarvoor afstand moeten doen van het primaat van de subjectiviteit die zo typisch is voor de moderne cultuur.

Met die vier verschillende verhoudingen ten opzichte van de natuur wordt een grondige culturele mutatie gekenmerkt die plaatsvindt op het einde van de 20e eeuw en het begin van de 21e eeuw. Door de doorslaggevende bijdrage van de ecologische wetenschappen zijn de verhoudingen ten opzichte van de natuur aanzienlijk gewijzigd. In tegenstelling tot het initiële cartesische standpunt is de natuur in twee betekenissen respectabel geworden: in elk beleid is het tegenwoordig belangrijk om rekening te houden met de dynamiek van de ecosystemen en dan meer bepaald met de problematiek van de eindige voorraden; het is ook belangrijk om die dimensie van grondige integratie van de mens in de natuurlijke sfeer en de esthetische dimensie in elke benadering van de natuur te integreren: de natuur is respectabel om wat ze is. Anderzijds leidt die nieuwe verhouding tot de natuur ook tot een nieuwe verhouding tot wetenschap en technologie. De vooruitgang van de wetenschap en van de technologie leidt niet automatisch tot vooruitgang voor de mensheid. Wetenschappelijke ecologie leidt tot een kritische houding ten opzichte van de vooruitgang. Ten slotte kadert deze nieuwe verhouding ten opzichte van de natuur in het idee van de mens die verantwoordelijk is voor de natuur en daardoor een disymmetrische houding ten opzichte van de natuur aanneemt - wat een zeer belangrijke vaststelling is. De aangekondigde grondige mutatie heeft betrekking op de verhoudingen met de natuur, maar gaat niet zover dat het primaat van de subjectiviteit opnieuw in vraag wordt gesteld in de dubbele dimensie van het antropocentrisme (de mensenrechten zijn specifiek voor de mens) en het antropogenisme (de mens staat legitiem aan de bron van de ethiek).

We kunnen dan ook een synergie onderstrepen tussen enerzijds de vernieuwde integratie van de ethische dimensie in het sociale leven met de nieuwe toe-eigening van de ethiek door de burgermaatschappij en anderzijds de ecosysteemgedachte die de menselijke activiteiten in het milieu en vervolgens in de natuur opnieuw integreert in een systemisch perspectief en in een perspectief dat het moderne primaat van de subjectiviteit respecteert.

2.3.3 Verantwoordelijkheid, voorzorg, toekomstige generaties

A. Principe van verantwoordelijkheid en 'ethiek van de toekomst'

De Duitse filosoof Hans Jonas formuleerde een specifieke ethiek van de technologieën (Jonas, 1995). Voor de eerste keer in de geschiedenis van de mensheid bevindt de mens zich immers in een situatie waarin hij - vaak zonder dat hij het zelf beseft - in staat is om de grote kenmerken van zijn omgeving op planetair niveau te wijzigen of zelfs het voortbestaan van de mensheid in gevaar te brengen (kernoorlog, kernongeval, genetische manipulatie). Jonas stelt in die context een categorieke nieuwe eis voor: *“handel op zo’n manier dat de effecten van je actie verenigbaar zijn met het voortbestaan van een authentiek menselijk leven op Aarde.”*

Hij associeert dat met wat hij een nieuwe methodologie noemt - de zogenaamde 'heuristiek van de vrees'. Wanneer de toekomst van de mensheid op het spel staat of wanneer de uitdagingen een aanzienlijke omvang nemen, moet men volgens Jonas “meer luisteren naar de profetie van onheil dan naar de profetie van geluk”. Volgens de voorstanders van kernenergie had de tsunami die Fukushima trof, een kracht die nooit eerder was gezien. Jonas noemt dit een misleidend argument: wanneer het menselijke leven in Japan op het spel staat, moet de meest pessimistische hypothese voorrang krijgen in de politieke keuzes. Dit is een nieuwe methodologie, die verband houdt met de nieuwe kracht van de betrokken technologieën. Het is fout om de risico's van een kernramp op dezelfde manier te behandelen als de risico's van een vliegtuigcrash. Deze laatste betreft vooral het leven van het personeel en van de passagiers. Een nucleair ongeval daarentegen heeft betrekking op het leven van de toekomstige generaties.

Het principe “verantwoordelijkheid” van Hans Jonas beschouwt daarom de problematiek van de toekomstige generaties als een essentiële dimensie van de nieuwe ethiek die moet worden opgebouwd.

B. Het voorzorgsprincipe

De verwijzingen naar het voorzorgsprincipe verschijnen later, dan meer bepaald in 1987, in de *Ministeriële verklaring van de tweede internationale conferentie over de bescherming van de Noordzee*. “Er dienen voorzorgsmaatregelen te worden getroffen om de Noordzee te beschermen tegen de eventuele schadelijke effecten van de gevaarlijkste stoffen. Dit kan leiden tot de invoering van controlemaatregelen van die stoffen nog voordat een oorzakelijk verband formeel werd vastgelegd op wetenschappelijk vlak. ”

Met de wet Barnier werd het voorzorgsprincipe in 1995 in de Franse wetgeving ingevoerd (République française, 1995). Dit impliceert een transformatie van de verhoudingen tussen wetenschappen en beslissingen (tegen de strategie van het geheim en de voortijdige, geleidelijke en omkeerbare tenlasteneming van de risico's).

C. De bijdragen van de UNESCO

Op het niveau van de UNESCO zijn twee documenten bijzonder relevant in deze context.²¹ Het betreft de volgende documenten.

In het rapport van de COMEST (The Precautionary Principle (2005) wordt het **voorzorgsprincipe** als volgt gedefinieerd:

“Wanneer menselijke activiteiten dreigen te leiden tot een moreel onaanvaardbaar gevaar, dat wetenschappelijk plausibel maar onzeker is, moeten de nodige maatregelen worden getroffen om dat gevaar te voorkomen of te verminderen.

Het moreel onaanvaardbare gevaar is een gevaar voor de mens of het milieu:

- dat een bedreiging vormt voor het leven of de gezondheid van de mens
- of dat ernstig en werkelijk onomkeerbaar is of
- dat onbillijk is voor de bestaande of de huidige generaties of
- dat wordt opgelegd zonder dat op een behoorlijke manier rekening werd gehouden met de mensenrechten van de mensen die aan het gevaar worden blootgesteld.

De beoordeling van plausibiliteit moet op een wetenschappelijke analyse zijn gebaseerd. Die analyse moet permanent worden uitgevoerd, zodat de gekozen maatregelen opnieuw kunnen worden onderzocht.

De onzekerheid kan onder meer betrekking hebben op de causaliteit of de grenzen van het mogelijke gevaar.

De acties zijn interventies die worden ondernomen voordat het gevaar zich voordoet en die bedoeld zijn om dat gevaar te voorkomen of te beperken. De gekozen acties moeten in verhouding staan tot de ernst van het potentiële gevaar, moeten rekening houden met hun positieve en negatieve gevolgen en moeten een evaluatie omvatten van de morele implicaties

²¹ Die documenten kunnen rechtstreeks op de site van de UNESCO worden geraadpleegd.

van zowel de actie als het uitblijven van de actie. De keuze van de actie moet het resultaat zijn van een participatief proces.”²²

De **Verklaring van verantwoordelijkheden van de huidige generatie tegenover toekomstige generaties (1997)**. Dit bijzonder belangrijke document van de UNESCO (dat weliswaar niet dezelfde status heeft als de Universele Verklaring van de Rechten van de Mens) heeft betrekking op de toekomstige generaties. Daaruit komt een ethische beschouwing naar voren waarin de problematiek van de toekomstige generaties is geïntegreerd en die aantoont hoe de milieukwestie in bepaalde opzichten slechts denkbaar is in een perspectief van toekomstige generaties. Het hele document is bijzonder informatief. De HGR stelt hier een voorstelling van artikel 5 voor.

“Artikel 5 - Milieubescherming.

1. Om de toekomstige generaties in staat te stellen om te genieten van de rijkdom van de ecosystemen van de Aarde, zouden de huidige generaties moeten werken aan een duurzame ontwikkeling en de levensomstandigheden in stand houden - en dan meer bepaald de kwaliteit en de integriteit van het milieu.
2. De huidige generaties zouden erover moeten waken dat de toekomstige generaties niet worden blootgesteld aan verontreinigingen die hun gezondheid of zelfs hun voortbestaan in gevaar zouden kunnen brengen.
3. De huidige generaties zouden voor de toekomstige generaties de natuurlijke rijkdommen moeten bewaren die noodzakelijk zijn voor het behoud van het menselijke leven en de ontwikkeling ervan.
4. De huidige generaties zouden, voordat ze grote projecten beginnen uit te voeren, rekening moeten houden met de mogelijke gevolgen ervan voor de toekomstige generaties.

2.3.4 Conclusies

A. Van de triomferende moderniteit naar de kritische moderniteit

De overstap van de triomferende moderniteit naar de kritische moderniteit kenmerkt globaal gezien de culturele wijziging die op het einde van de 20e eeuw plaatsvond.

De triomferende moderniteit: dit is een vertrouwen in de rede, maar dan wel een blind vertrouwen in de rede, een vertrouwen in de onaantastbare wetenschap (wetenschap is een plaats van absolute en onbetwistbare waarheid) en een continue vooruitgang (elke technologische innovatie zorgt voor vooruitgang voor de mensheid). We zitten hierbij in een logica van representatieve democratie.

In de **kritische moderniteit** is er, onder de gezamenlijke invloed van ethiek en ecologie, een

- a. vertrouwen in de rede, maar dan met een bewustzijn van de eindigheid van de rede. De eindigheid van de rede, d.w.z. dat wetenschap geen plaats van absolute waarheid is. Elke discipline heeft haar sterke punten en haar limieten;
- b. de kritische kennis: dit is precies een kennis die zich zowel bewust is van haar sterke punten als van haar limieten;
- c. een kritisch vertrouwen in de technologie, wat impliceert dat een innovatie moet worden getest voordat ze in het maatschappelijke systeem wordt geïntegreerd;
- d. de participatieve democratie die in de plaats komt van de representatieve democratie;

²² Unesco, Comest, 2005, p. 14.

- e. en de concepten duurzame ontwikkeling, verantwoordelijkheid, voorzorg, toekomstige generaties die daaruit voortvloeien.

B. Moderniteit en verhoudingen met de natuur

In de ecologische debatten kan een rechtstreeks verband worden gelegd tussen enerzijds de verhouding met de natuur en anderzijds de moderniteit.

- De cartesische verhouding is de triomferende moderniteit. De problematiek van de globalisering zelf is een gevolg van het feit dat men die dominerende houding nog altijd bij enorm veel industriële aantreft. De weerstand tegen de problematiek van de duurzame ontwikkeling vindt haar zeer diepgewortelde herkomst in een identificatie met de moderniteit, maar dan een moderniteit die zichzelf als triomferend ziet en die elke kritiek op de moderniteit als niet modern beschouwt.
- De wetenschappelijke ecologie stemt overeen met de opkomst van de kritische moderniteit op hetzelfde moment als de bio-ethiek.
- In de diepe ecologie neemt men een niet-moderne houding aan met een afwijzing van het primaat van de subjectiviteit.
- De vierde verhouding is een ecologie die is uitgebreid tot symboliek, maar die wel het primaat van de subjectiviteit behoudt. We behouden daarbij weliswaar een moderne houding, maar dan wel een die bijzonder kritisch staat tegenover de triomferende moderniteit.

C. Ethiek, moderniteit en kernenergie

a) Kernenergie en triomferende moderniteit

Kernenergie is typisch het product van de triomferende moderniteit. De beslissingswijze is die van de representatieve democratie. Men vertrouwt hierbij in de onbepaalde vooruitgang van de wetenschap. In die context is de afvalproblematiek opvallend: dit is een enorm probleem, dat nog duizenden jaren lang een verantwoordelijke houding zal vereisen. Of met andere woorden: dit is een onomkeerbaar probleem op menselijke schaal. De wetenschappers, die zich al van bij het begin bewust waren van het probleem, meenden echter dat ze binnen enkele jaren een oplossing zouden vinden. De oplossing bleek echter minder gemakkelijk te vinden dan verwacht en de oplossingen die momenteel worden bepleit, worden moeizaam ten uitvoer gelegd.

b) Kernenergie en kritische moderniteit: er zijn verschillende punten die vragen oproepen over de ethiek van nucleaire technologie.

- Het hierboven vermelde **voorzorgsprincipe**: het onderscheid tussen voorzorg en preventie is belangrijk. In het debat over wat niet kan worden verzekerd, moet men kijken wat daarvan de redenen zijn. De financiële motieven zijn weinig relevant. Dit is een bekend probleem, waarvan men de waarschijnlijkheden op een zekere manier kan kwantificeren; dit is een zaak van preventie en niet van voorzorg. En zelfs als men de waarschijnlijkheden van een ongeval niet kan kwantificeren, kan men het op een zekere manier wel anticiperen; men bevindt zich niet op onbekend terrein, waardoor men zich nog op de grens tussen voorzorg en preventie bevindt. In het geval van

kernafval daarentegen is men zeker van een potentieel ernstige en werkelijk onomkeerbare hinder, wat betekent dat hier duidelijk het preventieprincipe moet worden toegepast. Op ethisch vlak is de afvalproblematiek immers even ernstig als het risico op een kernongeval. Zelfs al hebben we intussen al meerdere ongevallen meegemaakt, weten we dat de schade in zekere zin groter had kunnen zijn. De afvalproblematiek daarentegen zal nog duizenden jaren blijven bestaan.

- Kernenergie werpt de vraag op van **de ethiek van de toekomstige generaties**: de gevolgen van een kernongeval kunnen bijzonder dramatisch zijn en de toekomstige generaties treffen (blijvend verontreinigd of zelfs onbewoonbaar gebied, mogelijke erfelijke gevolgen, gevolgen voor het ecosysteem). In Europa bevinden zich bovendien centrales in de nabijheid van grote steden. Die toestand druist ook in tegen de ethiek van de toekomstige generaties. Het risico om uitgestrekte gebieden onbewoonbaar te maken, is onbezonnen als men het standpunt van Jonas overneemt (vanaf een bepaald niveau van ernst kan men het zich niet veroorloven om een risico te nemen dat gevolgen heeft voor de toekomstige generaties). Wat het afval betreft, is men zeker van een potentieel ernstige hinder die nog duizenden jaren zal duren (intrusies, oorlogen, aardbevingen). De mogelijke gevolgen voor de toekomstige generaties impliceren een toezicht op het afval en het behoud van een competentie voor duizenden jaren. Men mag in deze context wel degelijk spreken over een zware last voor de toekomstige generaties. Dit is een uniek voorbeeld van ernstige hinder waarvan men weet dat die duizenden jaren zal blijven bestaan. Wat het bestaande afval betreft, moeten echter binnen afzienbare tijd beslissingen worden genomen. Aangezien het afval al bestaat, valt de beslissing onder een realiteitsbeginsel. De geologische berging van afval brengt voor de toekomstige generaties de noodzaak met zich voor toezicht en behoud van kennis, wat nog duizenden jaren lang een aanzienlijke last zal vormen. Vanuit ethisch standpunt bekeken moet deze oplossing dan ook als onaanvaardbaar worden beschouwd. Toch wordt de huidige generatie ertoe gebracht om deze zeer problematische procedure toe te passen, aangezien de andere voorgestelde oplossingen nog zwaardere lasten voor de toekomstige generaties met zich brengen.
- De **problematiek van de rationaliteit van de beslissing**: bij het ongeval in Fukushima werd de radioactieve wolk dankzij de wind vanuit China naar de Stille Zuidzee gedreven. Maar wat zouden de gevolgen zijn geweest als de wind op het moment van het ongeval vanuit het noorden zou zijn gekomen? Als de radioactieve wolk Tokio zou hebben bereikt en daar tot radioactieve regen zou hebben geleid, zou niemand nu nog over nucleaire technologie spreken. Het spreekt voor zich dat dergelijke gunstige weersomstandigheden geen rol mogen spelen in een politieke beslissing. De Duitse kanselier Angela Merkel kondigde overigens naar aanleiding van het ongeval de kernuitstap in haar land aan. Ook de ethiek en de rationaliteit van de beslissing spelen bijgevolg een zeer belangrijke rol in de problematiek van een technologie. Het is een legitieme vraag: behoort de verdere ondersteuning van een technologie die in bepaalde opzichten werd gered door de weersomstandigheden, tot een rationeel beheer?
- De **internationale dimensie van de ethische uitdagingen**: een dimensie die belangrijk lijkt, maar die toch weinig aandacht krijgt, is de problematiek van de **expansie van de technologie**. Er speelt een internationale verantwoordelijkheid mee bij het aanmoedigen van de wereldwijde toepassing van een ernstig problematische technologie. Voor Europa, dat hoge ambities koestert op het vlak van milieubescherming, vormt dit een bijzonder belangrijke symbolische uitdaging. Europa zou dan ook ernstig rekening moeten houden met de belangrijke bezwaren met betrekking tot de afvalproblematiek en de risico's op ongevallen - ook afhankelijk van

een duurzame ontwikkeling die op internationaal niveau moet worden gepromoot. In dit opzicht versterkt de recente problematiek van de Europese groene taxonomie, die de technologieën kenmerkt die worden aanbevolen als deelnemend aan de duurzame ontwikkeling, nog het belang van een ethische analyse die rekening houdt met de toekomstige generaties. De risico's op ongevallen in centrales en de risico's verbonden aan het begraven van kernafval voor duizenden jaren, nemen aanzienlijk toe, als die praktijken zouden worden verveelvoudigd door een veralgemeende toepassing van kernenergie die op Europees niveau wordt aanbevolen en zouden er eerder toe moeten leiden dat een beleid ter bevordering van kernenergie als ethisch zeer problematisch wordt beschouwd.

2.4 Kernenergie en duurzame ontwikkeling in het licht van de beginselen van de Verklaring van Rio

Net zoals de hierboven besproken SEPIA-studie van 2011 al deed, heeft de HGR de plaats van kernenergie beoordeeld in het licht van de beginselen van duurzame ontwikkeling die zijn vastgesteld door *Task Force* Duurzame Ontwikkeling van het Federaal Planbureau op basis van de Verklaring van Rio (VN, 1992) van 1992: Duurzame ontwikkeling is een politiek project: de staten van de wereld hebben overeenstemming bereikt over een reeks beginselen en doelstellingen die bij uitstek politiek zijn (bv. ongelijkheid). De taken van de *Task Force* Duurzame Ontwikkeling van het Federaal Planbureau, die in de wet van 1997 zijn omschreven (Koninkrijk België, 1997), omvatten de beoordeling van de situatie in België (beoordeling van de stand van de vooruitgang ten opzichte van de doelstellingen van duurzame ontwikkeling aan de hand van controle-indicatoren), de evaluatie van het beleid en de uitvoering van prospectieve studies van scenario's voor duurzame ontwikkeling.

Het begrip duurzame ontwikkeling werd in 1987 in het Brundtland-rapport (VN, 1987) als volgt gedefinieerd:

"Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de noden van vandaag zonder de behoeftevoorziening van de toekomstige generaties in het gedrang te brengen." Twee concepten zijn inherent aan dit begrip:

- het concept "behoeften", met name de basisbehoeften van de armsten, die de hoogste prioriteit moeten krijgen, en
- het idee van de beperkingen die de stand van onze technologie en sociale organisatie oplegt aan het vermogen van het milieu om in de huidige en toekomstige behoeften te voorzien.

Het is dus een politiek project dat aandacht wil schenken aan de behoeften van de armsten en meest kwetsbaren, maar dat afhankelijk is van de stand van onze technologie om de milieu-uitdagingen aan te gaan, alsook van onze sociale organisatie en onze levenswijze.

Naast deze definitie van 1987 hebben de conferenties van de Verenigde Naties, met name de Conferentie van Rio van 1992, 27 beginselen van duurzame ontwikkeling vastgesteld. Sinds het eerste federale rapport over duurzame ontwikkeling, dat in 1999 werd gepubliceerd, zijn de vijf meest vernieuwende en allesomvattende van deze beginselen gehandhaafd (hier vinden we de vijf beginselen terug die in de bovenvermelde SEPIA-studie worden gebruikt). Ze worden hieronder opgesomd, samen met een ander Rio-beginsel, het beginsel "de vervuiler betaalt" (dat bijzonder relevant is voor dit rapport van de HGR), waarbij wordt

gewezen op de moeilijkheden en uitdagingen waarmee kernenergie wordt geconfronteerd om aan deze beginselen te voldoen, in het algemeen en voor België in het bijzonder.

Het **beginsel van gemeenschappelijke maar gedifferentieerde verantwoordelijkheid** houdt in dat alle landen van de wereld hun verantwoordelijkheid erkennen voor de klimaatproblemen en de uitdagingen van duurzame ontwikkeling in het algemeen. Bovendien erkennen de ontwikkelde landen dat zij een bijzondere verantwoordelijkheid dragen wegens de druk die zij op het milieu hebben uitgeoefend en de hulpbronnen waarover zij beschikken. Hoewel de situatie sinds 1992 enigszins is veranderd, blijft dit beginsel belangrijk.

In het geval van kernenergie lijkt in het kader van dit beginsel het beheer van noodplannen van belang, vooral omdat deze internationale aspecten hebben. De gevolgen van de rampen in Fukushima en Tsjernobyl waren in vele delen van de wereld voelbaar. Er zijn ook verbanden met militaire kernenergie en het ontbreken van uniforme en veeleisende Europese (of zelfs internationale) veiligheidsnormen voor kernreactoren, zelfs voor nieuwe. Ook de internationale verantwoordelijkheid voor het aanmoedigen van de wereldwijde toepassing van een ernstig problematische technologie werd besproken.

Het tweede beginsel, **integratie**²³, vereist een systemische visie: energiebeleid heeft gevolgen op vele gebieden, zoals het milieu en op sociaal vlak. Dit brengt op zijn beurt een reeks problemen met zich mee die moeten worden aangepakt, onder meer rond de volgende elementen:

- **veiligheid:** alles wat te maken heeft met aanvallen tijdens de nucleaire cyclus, gebruik van vuile bommen door terroristen;
- **banden met militaire kernenergie:** civiele en militaire kernenergie hebben banden, met name door het risico van proliferatie en de overgang van laagverrijkt uranium naar meer verrijkt uranium of plutonium;
- **interacties met andere bronnen van elektriciteit en energie:** er is veel discussie over de verenigbaarheid van een gecentraliseerde bron zoals kernenergie met gedecentraliseerde en intermitterende bronnen;
- **verband met CO₂-emissies:** de centrales stoten geen CO₂ uit, dus wat zou het effect zijn van de uitstap uit de kernenergie op de CO₂-emissies? Op Europees niveau is de energiesector opgenomen in de regeling voor de handel in emissierechten (*Emissions Trading System*, ETS) van de Europese Unie. Dit doet de vraag rijzen of de uitstap uit de kernenergie een effect zal hebben op de emissies²⁴ in Europa? Op de prijs van de CO₂-vergunning? Er zij op gewezen dat met de regeling voor de handel in broeikasgasemissierechten (ETS) in Europa, die ook betrekking heeft op elektriciteit, de vervanging van een kerncentrale door een gascentrale emissierechten kost, maar de sluiting van de meest vervuilende eenheid in Europa versnelt, zodat dit niet noodzakelijk leidt tot een toename van de CO₂-uitstoot. Voor België bijvoorbeeld zal er, met of zonder de verlenging van twee kernreactoren in bedrijf, slechts een marginaal effect op het klimaat zijn in de marktstructuren die Europa heeft opgezet om de CO₂ te beheersen. In dit verband moet ook worden gewezen op het verhoogde (moeilijk te kwantificeren) risico van verplaatsing van activiteiten buiten Europa. (dat zou kunnen worden tegengegaan

²³ "... milieubescherming dient een integrerend bestanddeel van het ontwikkelingsproces te vormen en niet afzonderlijk daarvan worden beschouwd."(VN, 1992)

²⁴ "De behoeften op het gebied van ontwikkeling en milieu van zowel huidige als toekomstige generaties."(VN, 1992)

door het Europese CBAM-project (*Carbon Border Adjustment Mechanism*) dat in de Green Deal wordt beschreven). Een ander risico dat moet worden vermeld, is dat het na 2030 moeilijker kan worden om het ETS-emissieplafond te verlagen.

Het beginsel van **billijkheid**, zowel tussen de huidige als de toekomstige generaties:

- Wat **de huidige generaties** betreft, moet in de noodplannen onder meer aandacht worden besteed aan de vraag hoe de meest kansarme categorieën zullen worden getroffen. Toen bijvoorbeeld de orkaan Katrina in 2005 Louisiana trof, konden de meest kansarmen niet evacueren omdat zij niet over de middelen daartoe beschikten (auto, enz.). Ook in dit verband moet worden nagedacht over de locatie van bepaalde voorzieningen (nu of in de toekomst): wat is het effect op de meest achtergestelde gemeenschappen en op de meest radiogevoelige groepen (kinderen, foetussen/embryo's)?
- Wij moeten ook rekening houden met de zeer lange termijn, **de toekomstige generaties**, en met name met het oorlogsrisico en de omkeerbaarheid van de berging van radioactief afval.
- **Voorzieningen voor ontmanteling en afval**: deze voorzieningen zijn weliswaar georganiseerd, maar zijn niet zonder kritiek. De onzekerheid over de beschikbaarheid van het Synatom-fonds²⁵ kan aan de orde worden gesteld: zal het volledig beschikbaar zijn? Wat zal de rekening zijn voor de toekomstige generaties?

Het **voorzorgsbeginsel**²⁶: dit beginsel, dat niet altijd goed wordt begrepen, houdt in dat het ontbreken van wetenschappelijke zekerheid niet als voorwendsel mag dienen om niets te doen wanneer het risico bestaat van ernstige of onomkeerbare schade. Het is, in zekere zin, rekening houden met onzekerheid. Volgens sommigen is het **voorzorgsbeginsel** van toepassing indien het risico niet verzekeraar is. Indien het risico daarentegen verzekeraar en bekend is, moet een ander beginsel, namelijk het **preventiebeginsel**, in acht worden genomen. Op nucleair gebied zijn bepaalde risico's niet of onvoldoende bekend en zeker niet verzekeraar: het risico van een zwaar ongeval, maar ook de verschillende onbeschikbaarheden die wij de afgelopen jaren hebben gekend. Wat zijn de voorbereidingen in geval van een ongeluk? Zullen de gevolgen beheersbaar zijn? Wat is het risico van oorlog?

Het **participatiebeginsel**²⁷: de toepassing van het participatiebeginsel op nucleair gebied wordt bemoeilijkt door de moeilijke toegang tot informatie. Het is een zeer technisch gebied, waarin het zeer moeilijk is de problemen en de technische aspecten te begrijpen. Bovendien heerst er een cultuur van geheimhouding, zoals blijkt uit de vele onbeantwoorde parlementaire vragen. De keuzes van de overheid zijn dus niet erg doorzichtig. In deze context is het zeer moeilijk om onafhankelijke expertise te organiseren en een plaats te geven aan het zeer technische wetenschappelijke debat in een democratie. Dit is een zeer belangrijke kwestie, die uiteraard verder gaat dan de nucleaire sector. Een slecht geïnformeerd publiek verliest immers zijn vertrouwen. Er bestaat een hele reeks methodologieën om de inspraak van het publiek te organiseren, maar het is een zeer ingewikkeld proces, dat een aanzienlijke

²⁵ Bij de wet van 11 april 2003 werd SYNATOM belast met het dekken van de kosten die inherent zijn aan:

- het beheer van bestraalde splijtstoffen (verbruikte splijtstof);
- de ontmanteling van de nucleaire centrales.

²⁶ "Daar waar ernstige of onomkeerbare schade dreigt, dient het ontbreken van volledige wetenschappelijke zekerheid niet als argument te worden gebruikt voor het uitstellen van kosteneffectieve maatregelen om milieuaantasting te voorkomen." (VN, 1992)

²⁷ "Vraagstukken op milieugebied worden het best aangepakt met deelneming van alle betrokken burgers op het relevante niveau." (VN, 1992). Zie ook het Verdrag van Aarhus, dat het recht van alle mensen garandeert om toegang te hebben tot milieu-informatie en om betrokken te worden bij de besluitvorming inzake milieu. (VN 1998)

investering vereist, met name in tijd, en waarbij ook de schaal waarop de inspraak wordt georganiseerd van belang is. Indien voor een hele reeks projecten *milieu-effectbeoordelingen* (MEB's) worden georganiseerd, moet bovendien de vraag worden gesteld in hoeverre deze MEB's voor alle nucleaire installaties en processen zijn uitgevoerd.

Het **beginsel 'de vervuiler betaalt'**²⁸ : dit beginsel, dat zowel de korte als de lange termijn betreft, omvat de kwestie van de voorzieningen voor ontmanteling en afval. Zoals hierboven vermeld, roepen deze voorzieningen een aantal vragen op. Er bestaat inderdaad onzekerheid over de beschikbaarheid ervan: kan Synatom nog 75% van de bedragen die zij ontvangt lenen aan haar moedermaatschappij Electrabel wanneer deze laatste niet meer in België is gevestigd? Een andere vraag betreft het niveau van de voorzieningen: is dit toereikend voor de uitdagingen van de toekomst? Daarnaast is er de vraag hoe de financiering van het FANC en andere organisaties, die momenteel afhankelijk is van financiering door de nucleaire installaties, zal worden georganiseerd. Een andere vraag betreft de juiste schaal voor afvalbeheer: moet dit alleen op Belgisch niveau gebeuren en op het niveau van elke lidstaat, onafhankelijk van de andere? Of kunnen we denken aan een verdeling tussen Europese landen? Een laatste punt in dit verband betreft de kwestie van het ongevalrisico en de aansprakelijkheid in geval van een ongeval.

Sinds 2015 omvat duurzame ontwikkeling ook de '*Sustainable Development Goals*' van de VN, die een breed scala aan acties bestrijken. In deze doelstellingen wordt niet verwezen naar kernenergie, maar wel naar energie in het algemeen. Bovenal hebben deze doelstellingen echter betrekking op de periode tot 2030, terwijl we bij de kwesties die de HGR aangaan uiteraard veel verder moeten gaan dan 2030.

2.5 Conclusies

Zoals wij zojuist hebben gezien, werpt kernenergie in verschillende convergerende benaderingen ernstige vragen op met betrekking tot deze beginselen, waaronder met name de kwestie van het radioactief afval met een zeer lange levensduur en de gevolgen daarvan voor toekomstige generaties, het risico van ernstige ongevallen (gevolgen tot op lange afstand en op lange termijn, die meerdere generaties kunnen treffen), het risico van terrorisme, de banden met militaire kernenergie en de proliferatie van splijtstoffen voor militair gebruik. Daarbij komt nog een historische cultuur van geheimhouding (deels verklaarbaar door de terroristische dreiging) en een houding van onwrikbaar vertrouwen in wetenschap en onbepaalde vooruitgang die (onder meer) de nucleaire wereld kenmerkt. Bovendien moet worden gewezen op het gebrek aan onafhankelijke deskundigheid, politieke invloed en belangenconflicten (Wellerstein, 2021), ook op het niveau van de gevolgen voor de gezondheid en het milieu, en de financiële onzekerheden (onverzekerdheid, aansprakelijkheid bij ongevallen²⁹, beschikbaarheid en toereikendheid van provisies voor ontmanteling en, vooral, voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval).

²⁸ “... de vervuiler moet in principe de kosten van de vervuiling dragen ...”

²⁹ De wettelijke aansprakelijkheid op het gebied van de kernenergie werd gelegd in het Verdrag van Parijs, gewijzigd door de aanvullende protocollen van 1964, 1982 en 2004, en in het Belgische recht omgezet door de wet van 22 juli 1985 betreffende de wettelijke aansprakelijkheid op het gebied van de kernenergie. Deze wet bepaalt dat de exploitant van een nucleaire inrichting aansprakelijk is voor de door het ongeval veroorzaakte schade. Het maximale schadebedrag waarvoor de nucleaire exploitant aansprakelijk is, bedraagt echter 1,2 miljard euro voor elk kernongeval. Krachtens het supplementaire Verdrag van Brussel komt de schijf van 1,2 tot 1,5 miljard euro ten laste van de internationale pool van de verdragsluitende landen van het Verdrag van Parijs. Globaal kan gesteld worden dat de catastrofale gevolgen van het nucleaire ongeval van Fukushima geen invloed hebben gehad op de nucleaire aansprakelijkheidsregeling. (Veuchelen, interne communicatie, 2021)

Ook moet op het vlak van het gebruik van de beschikbare hulpbronnen rekening worden gehouden met het lage thermodynamische rendement van de huidige kerncentrales (35%) in vergelijking met de huidige generatie gasgestookte centrales met gecombineerde cyclus (63% in nominale bedrijfsomstandigheden) en met het gebruik (dat in de huidige klimaatcontext problematisch kan zijn) van grote hoeveelheden water die nodig zijn voor de afvoer van de door de cyclus van de huidige kerncentrales verloren warmte. Het gaat hier weliswaar niet om drinkwater, maar deze afgevoerde warmte draagt bij tot de opwarming van de rivieren en zelfs van het zeewater, met alle schadelijke gevolgen van dien voor het milieu. Kernenergie is immers een van de belangrijkste industriële toepassingen, met een atmosferische verdamping langs de koeltorens die ongeveer 1 m³/s/GWe (Eggermont, personal communication) bedraagt. Bovendien hebben de opwekking en distributie van elektriciteit zich de afgelopen decennia ontwikkeld in de richting van meer gedecentraliseerde opwekkingseenheden die op technologisch vlak minder kwetsbaar zijn (storingen, incidenten) en in de richting van slimme netwerken. De ontwikkeling van nog krachtiger reactoren (1600 MWe: EPR GEN III) heeft bovendien te kampen gehad met grote economische en technologische tegenslagen in Europa (vertraging en kosten van de EPR) en in de VS m.b.t. de AP1000-reactor van GEN III (faillissement van Westinghouse, Chapter 11).

Het gebruik van kernenergie voor vreedzame doeleinden na de Tweede Wereldoorlog (*Atoms for Peace*) is van start gegaan zonder dat er daadwerkelijk rekening is gehouden met al deze kwesties (met name het risico van ongevallen) of met uitstel van de behandeling ervan (afval), terwijl zij van cruciaal belang zijn gebleken voor het verdere gebruik van deze energie.

Op basis van deze reeks elementen oordeelt de HGR dat vanuit ethisch, milieu- en gezondheidsoogpunt niet kan worden gesteld dat kernsplijtingsenergie, zoals die momenteel wordt gebruikt, aan de beginselen van duurzame ontwikkeling voldoet. Meer in het bijzonder oordeelt de HGR dat de last van het afval voor de toekomstige generaties en de risico's van ongevallen met mogelijk catastrofale gevolgen ertoe zouden moeten leiden dat de nucleaire technologie zoals die momenteel wordt gebruikt, van de Europese groene taxonomie wordt uitgesloten.

3 Energietransitie

Van meet af aan moet duidelijk worden gemaakt dat de energietransitie uiteraard niet beperkt blijft tot de sector van de elektriciteitsproductie maar betrekking heeft op alle energiebronnen en broeikasgassen. In België bedroeg het elektriciteitsverbruik in 2019 bv. maar 22,5% van het totale eindenergieverbruik. De rest kwam hoofdzakelijk voor rekening van de fossiele brandstoffen die in tal van sectoren worden gebruikt (vervoer, verwarming van gebouwen, industrie, enz.). Vervoer alleen al veroorzaakt bijna een kwart van de totale uitstoot van broeikasgassen. Ook de petrochemische industrie en de staalindustrie leveren een belangrijke bijdrage. Landbouwpraktijken en de intensieve veeteelt (gekoppeld aan overmatige vleesconsumptie, zie de voedingsaanbevelingen voor de volwassen bevolking van de HGR (HGR 9284, 2019) spelen bovendien ook een aanzienlijke rol bij de productie van broeikasgassen (8% van de totale uitstoot).

Uit de evolutie tussen 1990 en 2019 blijkt dat de emissies gemiddeld zijn gedaald, maar dat ze in het vervoer (+24%, ofwel 5Mt CO₂ eq.) en gebouwen in de dienstensector (+33%, ofwel 1,4 Mt CO₂ eq.; vooral door informaticagebruik en airconditioning) zijn gestegen.

Tot slot is de winning van schaliegas wereldwijd ook verantwoordelijk voor de uitstoot van aanzienlijke hoeveelheden methaan (Dessus, 2016) .

3.1 Energietransitie, hernieuwbare energie en beschikbaarheid van grondstoffen

Een belangrijk probleem dat in de context van de uitstap uit de kernenergie aan de orde is, is de beschikbaarheid van grondstoffen voor hernieuwbare energiebronnen. De massale inzet van hernieuwbare energiebronnen om te voldoen aan de doelstellingen voor de vermindering van broeikasgasemissies die zijn vastgesteld in de Overeenkomst van Parijs - COP21 (Verenigde Naties, 2015), zal de komende twintig jaar een aanzienlijke inspanning vergen om metaalhoudende delfstoffen te winnen. Volgens het heel recente rapport van het *International Energy Agency* zullen we tegen 2040 42 x meer lithium, 21 x meer kobalt, 19 x meer nikkel, 7 x meer zeldzame aardmetalen, enz. nodig hebben, om nog maar te zwijgen van 4 Mt extra koper voor de infrastructuurbehoeften (IEA, 2021).

In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, zijn deze hulpbronnen nog steeds in ruime mate beschikbaar in de aardkorst. Anderzijds worden deze metalen vaak als kritiek beschouwd omdat de winning ervan geconcentreerd is in de handen van een zeer klein aantal landen (nikkel >50%: Indonesië en de Filippijnen; kobalt >70%: Democratische Republiek Congo; zeldzame aardmetalen >70%: China; koper >40%: Chili en Peru). Wij gaan dus van afhankelijkheid van de winning van fossiele brandstoffen naar afhankelijkheid van de winning van metaalhoudende hulpbronnen.

Niet alleen zijn de mijnbouwbronnen in handen van een zeer beperkt aantal landen, maar meer fundamenteel is dat de fase van de winning van metalen en de vervaardiging van onderdelen en zelfs afgewerkte producten (fotovoltaïsche panelen, batterijen, enz.) grotendeels door bepaalde firma's en landen, onder andere China, worden gecontroleerd.

Om de criticaliteit als gevolg van het gebruik van bepaalde metalen (bv. kobalt in Li-ion-batterijen) te verminderen, wordt veel onderzoek verricht naar substitutie (bv. een groter

aandeel nikkel ten koste van kobalt) of naar de ontwikkeling van alternatieve technologieën waarbij geen gebruik wordt gemaakt van deze materialen (bv. Li-ion-batterijen van het LFP-type (lithium-ijzer-fosfaat), elektromotoren zonder supermagneten, enz.). Hoewel dit onderzoek van vitaal belang is, mag niet uit het oog worden verloren dat het verschillende jaren zal duren voordat het op de markt komt. Het late ontwakken van Europa met het *Raw Materials Initiative* (*European innovation partnership* (EIP) Raw Materials), de *European Battery Alliance* (EBA) en recentelijk de *European Raw Materials Alliance* (ERMA) zal pas over tien jaar significante effecten sorteren.

De meeste recente studies zijn het erover eens dat met de ontplooiing van hernieuwbare energiebronnen, elektrochemische opslag en elektrische mobiliteit in het komende decennium verstoringen van de bevoorradingsketen te vrezen zijn, met een mogelijke of zelfs waarschijnlijke stijging van de metaalprijzen, als gevolg van de sterke tendens naar integratie van de traceerbaarheid van hulpbronnen (certificering van metalen met betrekking tot doelstellingen inzake duurzame ontwikkeling en goed bestuur - bv. Coppermark, Cobalt Institute, enz.) en als gevolg van de wereldwijde concurrentie om deze hulpbronnen. Er bestaat echter geen consensus over deze ongunstige prijstendens (tegenovergestelde hypothese in de EnergyVille-studie die verderop behandeld wordt).

Wat de mijnbouwprojecten betreft, deze stuiten op vrijwel algemene maatschappelijke weerstand (SLO - *Social License to Operate*) en een gebrek aan financiering. Het ontstaan van een groene taxonomie in de Europese financiële wereld zal de situatie niet ten goede komen indien de mijnbouw, die van essentieel belang is voor de Green Deal, de toegang tot financiering wordt ontzegd.

Hernieuwbare technologieën zijn tot dusverre gepromoot op basis van de gunstige CO₂-balans waarbij de in 25 jaar onder optimale omstandigheden geproduceerde energie wordt vergeleken met de energiekosten voor de vervaardiging ervan (bv. EROEI - *Energy Returned on Energy Invested*). Bij de huidige stand van zaken is de recycleerbaarheid van deze technologieën aan het einde van hun levenscyclus echter helemaal niet aangetoond en de massale en ondoordachte invoering ervan zou kunnen leiden tot een aanzienlijk verlies van de toegang tot metaalbronnen voor toekomstige generaties.

Een circulaire economie zal daarom van cruciaal belang zijn. Er zullen krachtige maatregelen moeten worden genomen om de recycleerbaarheid van hernieuwbare technologieën te bewerkstelligen, onder meer door een beter ontwerp van deze apparaten, alsook om de levensduur van qua benodigde grondstoffen kritische apparatuur aanzienlijk te verlengen.

3.2 Energietransitie en de waterstofsector

Als algemeen uitgangspunt is het belangrijk te beseffen dat, terwijl de energietransitie als doel heeft de CO₂-emissies substantieel terug te brengen tijdens de volgende decennia, de bestaande infrastructuur vandaag reeds gestalte geeft aan het grootste deel CO₂ dat, volgens het *Sustainable Development Scenario* (SDS), nog mag uitgestoten worden om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5°C tegenover de pre-industriële referentieperiode. Waterstof (H₂) en brandstoffen op waterstofbasis zullen, tegen deze achtergrond, een belangrijke rol spelen in het omlaag brengen van de CO₂-uitstoot van de wereldwijde energiesector. Het IEA verwacht dat deze, in het SDS-scenario, verantwoordelijk zullen zijn voor 2%, 5% en 8% van de jaarlijkse uitstootreductie tegen, respectievelijk, 2030, 2050 en 2070. Waterstof zal initieel vooral in de industrie van tel zijn, maar vanaf 2040 zal de transportsector geleidelijk aan

overnemen om tegen 2070 de dominante sector te worden (>2/3). Het zal hier voornamelijk gaan over het gebruik van synthetische brandstoffen (vloeibare koolwaterstof) in de luchtvaart, ammoniak als brandstof in de scheepvaart en direct gebruik van waterstof bij het aan boord opwekken van elektriciteit via brandstofcellen in voertuigen (bussen en vrachtwagens) en treinen (vooral in landen of regio's met minder elektrische kabelinfrastructuur). Er zijn op gewezen dat het gebruik van (groene) waterstof voor de directe opwekking van elektriciteit (re-elektrificatie met brandstofcellen) volgens de verwachtingen veeleer beperkt zal zijn.

De specifieke toepassingsgebieden binnen de industrie- en transportsector waarin voor waterstof een cruciale rol is weggelegd, kampen vandaag met een gebrek aan economisch haalbare opties om zichzelf tot in de kern koolstofvrij te maken. In de transportsector gaat het, bijvoorbeeld, over het zware vrachtverkeer waarvoor directe elektrificatie technologisch gewoon niet haalbaar is omwille van het te hoge extra gewicht van de batterijen. Om deze sectoren groener te maken, wordt er eerst op ecologische wijze waterstof geproduceerd via waterelektrolyse ($2\text{H}_2\text{O} + \text{elektriciteit} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$) door gebruik te maken van hernieuwbare elektriciteitsbronnen (voornamelijk wind en zon). De rol van waterstof is in dit geval om energie aan boord te voorzien via brandstofceltechnologie, wat louter H_2O uitstoot (dit is de tegenovergestelde reactie van waterelektrolyse: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{elektriciteit}$). Waterstof kan ook verder omgezet worden in brandstoffen op waterstofbasis, in combinatie met CO_2 -captatie elders (bijvoorbeeld de productie van vloeibare koolwaterstof als synthetische brandstof voor luchtverkeer) of voor de productie van niet-koolstofgebaseerde brandstoffen (zoals ammoniak voor scheepvaart: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$). In de industrie kan waterstof breder worden ingezet. Deze heeft het potentieel om de CO_2 -uitstoot van de staalindustrie, eigen aan ijzerertsreductie met middelen op basis van koolstof (coke), significant te verlagen of volledig weg te nemen (1,9 ton CO_2 per ton staal). Waterstof kan verder gebruikt worden als verbrandingsbrandstof, vooral bij industriële processen die temperaturen vereisen die buiten het bereik liggen van elektrische ovens (>1000°C, zoals bij de productie van floatglas).

Bij het bepalen van de meest aangewezen toepassingen voor waterstof, is het belangrijk te onthouden dat de productie van groene waterstof via waterelektrolyse als zodanig een elektriciteitsintensief proces is (een normale installatie werkt met een gemiddelde efficiëntie van 70%, wat neerkomt op ongeveer 47 kWh per kg H_2). Samen met een typisch rendement van de brandstofcel aan boord, die in de orde van 50-60% ligt, zorgt dit voor een limiet van ~35% wat betreft het totale rendement van de cyclus. Hoewel dat nog steeds beter is dan de klassieke verbrandingsmotor, is directe elektrificatie bij uitstek de aangewezen weg naar het koolstofvrij maken van personenwagens. Zoals reeds gezegd blijft voor zwaar (vracht)transport directe elektrificatie evenwel technisch onhaalbaar wegens de reeds vermelde gewichtsvereisten voor batterijen, wat ruimte biedt voor elektrische mobiliteit aangedreven door waterstof, bijvoorbeeld met vrachtwagens en bussen. Op langere termijn kunnen ook voor de elektrificatie van personenauto's meer praktische argumenten de overhand krijgen, waardoor ruimte ontstaat voor waterstofauto's. Bij die argumenten horen de tanksnelheid en de investeringskosten (waterstof tanken gebeurt 15 keer sneller en kost de helft minder dan elektrisch snelladen), alsook ruimte- en stroombehoeften (een waterstoftankstation vervangt 60 snellaadstations, waarbij laatstgenoemde ook nog eens multi-MW-elektriciteitsleidingen vereisen om piekbelastingen op te vangen). Bovendien hangen waterstofgerelateerde technieken veel minder sterk af van de beschikbaarheid van cruciale mineralen, in tegenstelling tot de enorme opslagcapaciteit die in de vorm van batterijen nodig is voor elektrische voertuigen.

De vraag naar waterstof zal de komende decennia wellicht sterk stijgen. Terwijl het huidige gebruik, vooral in raffinaderijen en bij de productie van basischemicaliën als ammoniak (NH_3)

en methanol (CH_3OH), in de orde ligt van 70 Mt/jaar, gaan de projecties om tegen 2050 klimaatneutraliteit te bereiken uit van een vier- of vijfvoud daarvan tot 300 Mt/jaar en een verdere stijging tot meer dan 500 Mt/jaar tegen 2070. Tegen dan zal het voornaamste gebruik ook verschuiven van industrie naar transport, waarbij 30% zal worden toegewezen aan direct gebruik in door brandstofcellen aangedreven vrachtwagens, bussen en treinen, 20% aan de productie van vloeibare koolwaterstof als synthetische brandstof voor de luchtvaart en 10% aan de productie van ammoniak als brandstof voor de scheepvaart. Vanaf 2050 zal een klein deel waterstofgas gebruikt worden in gebouwen (bv. als verbrandingsbrandstof in huishoudelijke waterstofbranders) en om gascentrales aan te drijven in de elektriciteitssector. Tegen dan zal het directe gebruik in raffinaderijen volledig verdwenen zijn. Om aan deze stijgende vraag te voldoen, dient er massaal ingezet te worden op de productie van groene waterstof. Tegen 2050 zal, om waterelektrolyse-installaties te runnen, een capaciteit van ongeveer 1500 GW hernieuwbare energie (RE, *renewable energy*) nodig zijn, wat neerkomt op 10 % van de totale, wereldwijd geïnstalleerde RE-capaciteit. Aangezien het moeilijk voorstelbaar is dat meer dan 10% van die capaciteit wordt toegewezen aan de productie van groene waterstof, zal ook zogeheten blauwe waterstof nodig zijn als bijkomende bron van koolstofarme waterstof. Deze staat vandaag in voor het merendeel van de geproduceerde waterstof en wordt bekomen via *Steam Methane Reforming* (SMR), een CO_2 -intensieve, chemische productiewijze (die ongeveer 8 ton CO_2 per ton waterstof uitstoot). De aanvankelijk op fossiele brandstoffen gebaseerde grijze waterstof wordt er blauwe wanneer zulke SMR-infrastructuur uitgerust is voor CO_2 -captatie. Terwijl het aandeel groene waterstof geleidelijk aan zal stijgen tijdens de volgende twee decennia (binnen de EU luidt een eerste doelstelling van 40 GW tegen 2030), zullen groene en blauwe waterstof vanaf 2050 een min of meer gelijk aandeel hebben in de productiecapaciteit van koolstofarme waterstof. We zullen, met andere woorden, zowel groene als blauwe waterstof nodig hebben om de wereldwijde doelstellingen inzake CO_2 -uitstootreductie voor klimaatneutraliteit tegen 2050 te halen.

De noodzaak om de productie van groene waterstof aan te vullen met blauwe heeft voor een groot deel te maken met de (beperkte) beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit. Dat is bij uitstek het geval voor België. Wanneer men, voor een aantal Europese landen, de huidige vraag naar H_2 (in TWh-equivalent) afzet tegen hun huidige elektriciteitsproductie, blijkt dat België weliswaar qua vraag naar waterstof (16 TWh) op de zevende plaats staat, maar ook dat het na Nederland de op één na hoogste verhouding vertoont tussen de vraag naar H_2 en elektriciteitsconsumptie (~18%), wat weerspiegelt dat België een relatief klein maar erg (chemisch) geïndustrialiseerd land is. Met een geraamd RE-potentieel van 40 TWh zou België het enige land zijn dat niet voldoende RE heeft om zowel zijn eigen elektriciteitsconsumptie als de vraag naar waterstof groen in te vullen. Met andere woorden: België zal zijn volledige potentieel aan hernieuwbare energie in de eerste plaats nodig hebben om zijn elektriciteitssector om te vormen. Een recente studie van het Belgische Federaal Planbureau (FPB, 2020) bevestigt deze inschattingen enigszins. Hoewel deze het Belgische potentieel aan hernieuwbare energie tegen 2050 schat op 127 TWh, voorspelt ze qua elektriciteitsverbruik ook een verdubbeling tot 154 TWh (onder meer door het gebruik van elektrische wagens en warmtepompen). Zelfs wanneer we de verwachte stijging in de vraag naar H_2 (met een vijfvoud tot 80 TWh) buiten beschouwing laten, zal de volledige capaciteit hernieuwbare energie tegen 2050 nodig zijn om aan de Belgische elektriciteitsbehoeften te voldoen. Hetzelfde geldt voor delen van Duitsland en Nederland. Opmerkelijk is ook dat België bij de top drie hoort van regio's met intensief waterstofverbruik, vooral dankzij de Haven van Antwerpen (met een vraag equivalent aan 1,1 GW H_2 en de Waalse industriële clusters rond Luik en Charleroi (met 0,7 GW).

Concluderend kan worden gesteld dat de effecten van de waterstofsector op de energietransitie van primordiaal belang zijn, maar dat deze sector nog in ontwikkeling is en er geen significante impact voor 2030 wordt verwacht. Voor de productie van "groene" waterstof, die nodig is voor brandstofcellen in voertuigen en voor bepaalde residentiële en industriële toepassingen, zijn immers voldoende hernieuwbare energiebronnen nodig (om de elektriciteit op te wekken die nodig is voor de elektrolyse van water) en onze capaciteiten zullen vóór die datum nog ontoereikend zijn. De impact van waterstof zal zich in de eerste plaats op industrievlak situeren. Deze sector kan immers gebruik maken van "blauwe" waterstof (geproduceerd in *Steam Methane Reforming* (SMR) eenheden die zijn geactiveerd om CO₂ op te vangen voor opslag (met permanente vastlegging) en/of later gebruik. De vervoersector (lucht- en scheepsvaart, spoor- en zwaar wegvervoer: vrachtwagens) zal naar verwachting pas na 2040 volgen. "Blauwe" waterstof zou ook kunnen worden gebruikt in gascentrales die aangepast zijn aan dit gebruik en aan het distributienetwerk (Proost, 2021).

3.3 Opslag van energie en warmte en afstemming van de energievraag op het energieaanbod

De laatste Belgische kerncentrale zal naar verwachting op 1 december 2025 worden gesloten, wat betekent dat er vanaf 2026 in België geen elektronen meer beschikbaar zullen zijn die op basis van kernenergie zijn geproduceerd. Vandaag de dag produceren deze kerncentrales 46,6% (in 2019) van onze elektriciteit in termen van energie, met een geïnstalleerd vermogen van 5,93 GWe. Vanaf januari 2026 zal deze kernenergie wellicht gedeeltelijk en geleidelijk worden vervangen door hernieuwbare energiebronnen (RE) die in 2019 22,7% van de totale elektriciteit in België opleverden. Volgens het Federaal Planbureau zal naar verwachting 67% van het Belgisch elektriciteitsverbruik in 2050 door RE worden geproduceerd. Een belangrijke opmerking is natuurlijk dat wij hier voor België alleen spreken over het elektriciteitsverbruik, dus niet over het totale energieverbruik. Opmerkelijk is dat het elektriciteitsverbruik in 2019 slechts 22,5% bedroeg van de totale hoeveelheid primaire energie die in België werd gebruikt (22,5% van 55,2 miljoen ton olie-equivalent (Mtoe)). Als we het dus hebben over een grotere elektrificatie van onze samenleving (met warmtepompen, elektrische auto's, elektrische bussen, meer HVAC in woningen, elektrische ovens in de industrie, synthetische brandstoffen op basis van groene waterstof, ...), dan betekent dit dat een groot deel van de overige 77,5% van de in België verbruikte energie dan ook uit hernieuwbare energiebronnen zal moeten komen.

Het variabel en intermitterend karakter van de productie van hernieuwbare energie mag niet uit het oog worden verloren. Dat leidt tot de beroemde *Sitting Duck*-curve die reeds lang door de Californische universiteiten wordt aangehaald wanneer zij de enorme flexibiliteit van het netwerk benadrukken die nodig zal zijn eens dat 50% of meer van onze energiebehoeften door hernieuwbare energiebronnen moeten worden gedekt. Een manier om te zorgen voor deze flexibiliteit van het netwerk (waarin een grote meerderheid van de energie afkomstig zal zijn van hernieuwbare energiebronnen) is energieopslag. Deze wordt vaak herleid tot elektriciteitsopslag, waarbij de zogenaamde dagelijkse opslag (een dag of enkele dagen) en de seizoenopslag (enkele weken of beter een paar maanden, tot 4-5) door elkaar worden gehaald. Dit is een gebied waarin België de komende jaren massaal moet investeren, naast Coe en La Platte-Taille die sinds het eind van de jaren tachtig als PHES (*Pumped Hydro Energy Storage*) worden gebruikt, maar die slechts instaan voor ongeveer 1,3% van de jaarlijkse Belgische elektriciteitsproductie, ondanks het feit dat ze nu al respectievelijk 1,2 GWe (5 GWh) en 42 MWe (0,8 GWh) produceren. De enige toekomstige opties voor de opslag van elektriciteit die werkelijk haalbaar lijken voor een land als België (met een lage capaciteit

aan hydro-overdracht energie) zijn batterijen (BES, *Battery Energy Storage*) van alle soorten (niet alleen loodzuur en Li-Ion maar ook RFB of *Redox Flow Batteries* en een tweede leven voor automotive-batterijen) en uiteraard waterstof en synthetische brandstoffen voor mobiliteitstoepassingen (zoals luchtvervoer). Door het invoeren van deze flexibiliteit via DSM (*Demand Side Management*) of DR (*Demand Response*), transnationale overdrachten met gelijkstroom of wisselstroom, flexibele elektriciteitscentrales (met waterstof of groen methaan?) en opslag van elektriciteit (en warmte), wordt de *Sitting Duck*-curve omgezet in een *Flying Duck*-curve. Natuurlijk zal er vraag zijn naar alle soorten elektriciteits- en warmteopslag, gaande van volledig gedecentraliseerde individuele BES in huishoudens tot collectieve BES voor een district, via de productie van groene waterstof in/uit offshore-windparken die honderden kilometers per pijpleiding wordt vervoerd. Al deze oplossingen vergen nog veel werk en, vooral in de komende jaren, een grotere maturiteit voor al deze technologieën.

Eens de energie grotendeels door hernieuwbare energiebronnen zal worden aangeleverd, zal het absoluut noodzakelijk zijn om flexibiliteit in het netwerk in te bouwen. Hoewel hier en daar zich al lokale problemen van spanningskwaliteit voordoen, is de huidige penetratiegraad van variabele hernieuwbare energiebronnen zoals zonne- en windenergie nog niet van dien aard dat een grootschalige toepassing van oplossingen m.b.t. afstemming van energievraag op -aanbod zich al opdringt. Dergelijke grootschalige toepassing wordt eerder in de periode 2030-2050 verwacht. Wat het lokaal afstemmen van de elektriciteits- en/of warmtevraag op het elektriciteitsaanbod betreft zijn er op de relatief korte termijn vooral mogelijkheden voor de slimme controle van energiesystemen op het niveau van individuele huishoudens of KMO's. Deze vergen een eerder beperkte investering, waardoor deze toepassingen veel dichterbij de markt staan. Anders dan bij batterijopslag, waar vooral economische beperkingen op dit moment een massale uitrol verhinderen, is een toename van slimme controle vaak een kwestie van regulering en het geven van de juiste marktprikkels (bv. uitrol van slimme meters, flexibele energietarieven, enz.). Bij een voldoende groot aandeel elektrische voertuigen (naar verwachting op de middellange termijn, 2025-2030) biedt slim laden en de 'vehicle2grid' technologie een interessante opportuniteit om de autobatterijen ook in te schakelen bij het afstemmen van de energievraag op het -aanbod. Voor appartementsgebouwen, wijken of stadsdelen ('lokale energiegemeenschappen') is de toepassing van microgrids nog een interessante piste. De energievraag van de bewoners van dergelijke lokale energiegemeenschap zou dan zoveel mogelijk afgestemd worden op de decentrale productie binnen de energiegemeenschap zelf (bv. zonnepanelen op het dak, een WKK of warmtepomp met warmtebuffer in de kelder), zodat de aansluiting met het distributienet zo weinig mogelijk belast wordt. Op de lange termijn, wanneer naar verwachting hernieuwbare energiebronnen een aanzienlijk percentage van de energievoorziening voor hun rekening zullen nemen, zullen 'power-to-gas' toepassingen, waaronder vooral waterstof, aan belang winnen. Als opslagmedium kan waterstof complementair zijn aan batterijen; door waterstof in het gasnet te injecteren kan het immers als seizoensopslag gebruikt worden. Om deze toepassing te faciliteren moet het gasnet wel aangepast worden voor bijmenging met waterstof.

De zeer lage kosten van fotovoltaïsche technologie en de steeds dalende kosten van offshore-windenergie zouden tot de verwezenlijking van deze opties moeten bijdragen. Dat is echter alleen mogelijk als daadwerkelijk gebruik wordt gemaakt van de opslag van elektriciteit en warmte. Daar bestaat echter momenteel nog geen echte markt voor, wat een reële belemmering vormt voor het ontwikkelen van de opslag van elektriciteit (en thermische energie) op de korte termijn.

3.3 Energietransitie en stillegging van de kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België

3.3.1 EnergyVille-studies

De haalbaarheid en de gevolgen van de stillegging van de kerncentrales in het kader van de huidige energietransitie op Belgisch en Europees niveau voor de opwekking van elektriciteit zijn het voorwerp geweest van talrijke analyses.

Daaronder bevinden zich de verschillende studies die werden uitgevoerd door EnergyVille (*EnergyVille lanceert aanvullende systeemscenario's voor elektriciteitsvoorziening in België in 2030 en 2050*).

De laatste studie (die hier wordt toegelicht) heeft EnergyVille eind vorig jaar in opdracht van Engie gevoerd maar kadert in een breder pakket aan studies van EnergyVille (in 2017 in opdracht van Febeliec (*Federation of Belgian Industrial Energy Consumers*) en met horizon 2030, in 2018 met geüpdatete parameters en horizon 2040, in opdracht van Greenpeace, BBL (*Bond Beter Leefmilieu*) en IEW (*Inter - Environnement – Wallonie*)).

Deze studie geeft een vooruitblik op de toekomst van het Belgische elektriciteitssysteem (productie en vraag) tot 2030 en 2050, met in het achterhoofd de doelstelling om tegen 2050 tot een net zero carbon-energiesysteem te komen. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat het elektriciteitsverbruik momenteel 22 % van het totale energieverbruik in België vertegenwoordigt, terwijl meer dan 70 % van het energieverbruik wordt afgedekt door fossiele producten (gas, petroleum, enz.). Het gebruik van fossiele brandstoffen gebeurt in industriële sectoren, maar ook bij particulieren, bv. voor de verwarming van huizen. In het kader van een decarbonisatie van het energiesysteem moet uiteraard naar het volledige plaatje worden gekeken.

A. Scenario's

Voor deze studie werden **2 langetermijnpaden** uitgewerkt:

- **Huidige ambities inzake hernieuwbare energie** (jaarlijkse groei van windenergie op land beperkt tot 250 MW (omwille van de nodige vergunningen), totaal windenergie op zee 4,6 GW, geen beperking op PV)
- **Hoge ambities inzake hernieuwbare energie**: scenario waarbij de hernieuwbare energiebronnen toenemen omwille van een snelle daling in hun kostprijs en een toegenomen uptake ervan in het Belgische energielandschap en in de buurlanden.

Voor elk van deze paden werden drie scenario's berekend: een centraal scenario waarbij de kerncentrales in 2025 worden gesloten, een scenario waarbij 2 centrales voor 10 jaar verlengd worden (2 GW) en een scenario waarbij 2 centrales voor 20 jaar verlengd worden (2 GW).

- a) Methodologie voor het uitwerken van de scenario's
 - Er wordt een CO₂-prijs aan alle sectoren opgelegd (die stijgt van 84 euro/ton in 2030 naar 160 euro/ton in 2050). Dit leidt niet tot een net zero carbon energiesysteem in 2050.
 - Gebruik van het TIMES-energiemodel

- Het modellenframework werd ontwikkeld binnen het internationale energieagentschap, meer bepaald door de ETSAP-groep (*Energy Technology Systems Analysis Program*, waarvan VITO lid is) en wordt wereldwijd gebruikt.
- Het model werkt op basis van techno-economische optimalisatie en zoekt naar de laagste systeemkosten voor het volledige energiesysteem over de volledige tijdshorizon waarover men het model laat lopen (d.w.z. investeringskosten, operationele kosten, fuelkosten die met deze evoluties gepaard gaan).
- De interconnecties met elektriciteitssystemen in de buurlanden werden meegenomen (Nederland, Frankrijk, Duitsland en Engeland).
- De rapportering dekt de periode 2020-2050 af, met telkens 5 jaren interval, behalve voor de periode 2023-2026, waar de modellering op jaarlijkse basis gebeurt omwille van de sluiting van de kerncentrales.
- Er werd geen rekening gehouden met ondersteuningsmechanismen (subsidies) omdat dit kosten zijn die door de maatschappij zullen moeten worden gedragen.
- Het gaat niet om een adequacy-flexibility studie (cf. Elia). De kostenoptimalisatie wordt hier over de volledige tijdshorizon gedaan en het tijdsmodel berust op tijdsresoluties van 120 minuten over 10 representatieve dagen (i.p.v. 15 minuten of 60 minuten).

b) Veranderingen in het elektriciteitssysteem

De situatie in de buurlanden heeft een enorme impact op het Belgische energiesysteem. Door de sluiting van de Belgische kerncentrales zullen 6 gigawatt aan capaciteit verdwijnen, maar ook in de buurlanden (Duitsland, Frankrijk, Nederland, Verenigd Koninkrijk) waarmee België direct interconnecties heeft, zijn er tussen 2020-30 sluitingen gepland (kerncentrales, maar ook kool- en gascentrales) waardoor met een verlies van 70 gigawatt moet worden gerekend. Om dit op te vangen wordt in de buurlanden gepland om tussen 2020 en 2030 bijkomende installaties te voorzien die 200 gigawatt aan hernieuwbare capaciteit zullen leveren. Er moet echter rekening worden gehouden met het feit dat in deze periode de vraag zowel bij ons als ook in onze buurlanden zal toenemen (in de buurlanden van 1400 naar 1500 TWh volgens Entso-E TYNDP scenario³⁰).

B. Resultaten van de scenario's

De resultaten worden gegeven voor het centrale scenario en het scenario waarbij 2 centrales 10 jaar worden verlengd. Meer informatie kan worden verkregen op de website van EnergyVille (<https://www.energyville.be/belgian-long-term-electricity-system-scenarios>). Daar bevindt zich een interactieve module waar de gebruiker verschillende scenario's kan aanklikken waarvoor hij de resultaten wil zien.

- a) Met de huidige ambities inzake hernieuwbare energie
 - **Capaciteit en productie:** De verlenging van de kerncentrales heeft een impact op de nood aan nieuwe gascentrales, maar niet op investeringen en installaties voor hernieuwbare energie. Deze verhouding stijgt tot 50% van de totale elektriciteitsproductie in 2030.
 - In het centrale scenario zal er door de sluiting van alle kerncentrales tegen 2026 op korte termijn nood zijn aan de bouw van nieuwe gascentrales (3,85

³⁰ ENTSO-E: 'European association for the cooperation of transmission system operators (TSOs) for electricity', Europees netwerk van transmissiesysteembeheerders voor elektriciteit
TYNDP : Ten-Year Network Development Plans

gigawatt). Ook de hernieuwbare capaciteit groeit snel door de uitbouw van wind op land en op zee, alsook fotonvoltaïsche systemen. Dit is kosteneffectief en verdubbelt tegen 2030. Daardoor zal de gasgebaseerde productie vanaf 2030 sterk afnemen (dus de capaciteit die geïnvesteerd wordt omwille van de sluiting van de kerncentrales is nog steeds beschikbaar, maar het aantal draaiuren neemt zeer sterk af in de periode na 2030).

- Scenario met de verlenging van 2 centrales gedurende 10 jaar: dit gaat gepaard met lagere systeemkosten en is dus kosteneffectief. Dit heeft een impact op de nood aan nieuwe gascentrales (capaciteit zakt naar 2,7 gigawatt), en dus ook op de gasgebaseerde productie van elektriciteit, maar slechts een zeer beperkte impact op de investeringen naar hernieuwbare energie, waarvan de capaciteit ook tegen 2030 zal verdubbelen. Daardoor zal de productie van hernieuwbare energie aanzienlijk toenemen.
- **Import:** in het centrale scenario zal dat in 2030 ca. 10% zijn van de totale vraag (wat vergelijkbaar is met de afgelopen jaren), door 2 kerncentrales te verlengen zal de nood aan import dalen.
- **Impact op CO₂-emissies:** afhankelijk van het scenario zullen de emissies pieken in 2026. In het centrale scenario zullen door de sluiting van de kerncentrales en de hogere productie van elektriciteit via gascentrales de CO₂-emissies aanvankelijk hoger zijn (+5,6 Mton), alvorens vanaf 2030 te dalen dankzij de toename van hernieuwbare energie (- 1Mton ten opzichte van 2020). In geval van nucleaire extensie kan de cumulatieve emissiereductie over 10 jaar oplopen tot 22 Mton.
- **Kosten** (investeringskosten, operationele kosten, brandstofkosten): in het scenario waarbij 2 centrales 10 jaar langer worden opgehouden zal de jaarlijkse kost van het elektriciteitssysteem iets lager zijn (106 tot 134 miljoen euro per jaar op een totale jaarlijkse kost van 4000 miljoen euro; 100 miljoen euro in 2030, cumulatief over 10 jaar: 2 miljard euro). In het centrale scenario is de aardgasprijs de drijvende factor in de totale kost, in het nucleair extensiemodel zijn dat vooral de hernieuwbare energieën (investeringskosten en operationele kosten).
- **Groothandelsprijzen voor elektriciteit:** De elektriciteitsprijs wordt bepaald door de “Merit-order”. Bovendien is het Belgische elektriciteitsnet zeer goed geïnterconnecteerd in en afhankelijk van de West-Europese markt. Daardoor verschilt de elektriciteitsprijs bijzonder weinig in de verschillende scenario's. De impact van de verlenging van de 2 kerncentrales op de groothandelsprijs zal zeer beperkt zijn: iets meer dan 1 euro/MWh in 2030. Voor een gemiddeld huishouden betekent dit gemiddeld 5 euro per jaar. De elektriciteitsprijs zal stijgen omwille van de toename in gascentrales en hernieuwbare energie van boven 55 euro naar ongeveer 70 euro/MWh in 2030.

b) Hoge ambities inzake hernieuwbare energie

In dit scenario, waarbij alle centrales tegen 2025 worden gesloten, wordt gerekend met een versnelde daling in de prijzen van hernieuwbare energie en vooral van PV-prijzen zoals door het Internationaal Agentschap voor hernieuwbare energie vooropgesteld, maar ook lagere prijzen voor windmolens op land en voor opslag (batterijen).

- **Capaciteit en productie:** in 2030 ligt de totale capaciteit 25 % hoger dan in het vorige scenario, daarvan is het aandeel van hernieuwbare capaciteit 80%. Daarentegen ligt de productie ca. 10% lager, wegens de toename aan hernieuwbare capaciteit in de

buurlanden (en het dus kosteneffectief is om meer te importeren). Ook de gasgebaseerde productie daalt aanzienlijk.

- **Groothandelsprijzen voor elektriciteit:** deze zullen een heel stuk lager liggen (ongeveer de helft ten opzichte van het vorige pad) omdat er in dit scenario op jaarbasis veel meer uren met extreem lage elektriciteitsprijzen zullen zijn (de helft van het jaar elektriciteitsprijzen onder 10 of 20 EUR/MWh). Dit aantal uren zal vooral na 2030 stijgen van 1 000 naar meer dan 4 000 uren (dus de helft van het jaar). Aan deze elektriciteitsprijzen kan men in België denken aan de productie van hernieuwbare moleculen (waterstof, e-fuels). Die lage elektriciteitsprijzen zullen ook leiden tot een toename in de vraag naar elektriciteit: een sterke elektrificatie van het transport maar ook residentiële en industriële processen. In lopende onderzoeksprojecten wordt momenteel gewerkt aan het detailleren van mogelijke transitiepaden voor industriële processen. Het aantal uren met zeer lage elektriciteitsprijzen is momenteel daarom eerder overschat in de modelresultaten en zal wellicht dalen.
- **Impact op CO₂-emissies:** Met de kostprijs voor CO₂ die in dit model werd gebruikt wordt geen volledige decarbonisatie bereikt.

De conclusie van deze EnergyVille-studies is dat een volledige stopzetting van kernenergie in 2025 mogelijk is tegen een relatief beperkte impact, zowel wat de kosten als de CO₂-uitstoot betreft, en zonder dat dit een invloed heeft op de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen. De behoefte aan elektriciteitsinvoer neemt toe, maar zou alleen tot bevoorradingsproblemen kunnen leiden in het geval van extreme weersomstandigheden die tegelijkertijd de buurlanden treffen (zoals ook benadrukt door de scenario's van France Stratégie). Als overgangsooplossing zal er hoe dan ook een nood zijn aan nieuwe gascentrales maar het aantal benodigde gascentrales zal wel kleiner zijn indien kernenergie wordt verlengd (in het regeerakkoord beperkt tot een capaciteit van 2 GWe, wat neerkomt op een basiselectriciteitsproductie in België van 20 tot 25 %). Bovendien blijft het modulatievermogen van de twee meest recente reactoren, hoewel groter dan dat van de oude reactoren, aanzienlijk lager dan dat van gascentrales met gecombineerde cyclus, evenals de energie-efficiëntie (35% tegen 63%), in tegenstelling tot de energie-, water- en warmteverbruiken en -verliezen, die hoger zijn bij kerncentrales.

3.3.2 Studies van het Federaal Planbureau

Het Federaal Planbureau werd al meerdere malen geconfronteerd met vragen rond de nucleaire elektriciteitsvoorziening in het Belgische elektriciteitslandschap tegen en na 2025, wanneer volgens de wet van 2015 de nucleaire fase-out afgerond dient te zijn. Er zijn dus al heel wat werkzaamheden rond kernenergie en de operationele werkingsduurverlenging van 2 of meer reactoren verricht, bv. in het kader van de Commissie 2030, *Perspectives énergétiques -Energievooruitzichten* (PEEV) 2011. In 2016 publiceerde het Planbureau een rapport (FPB, 2016) naar aanleiding van het feit dat er in de periode tussen 2012 en begin 2016 heel wat kernreactoren in België niet functioneerden omwille van een amalgaan aan redenen en daardoor geen elektriciteit konden produceren (wettelijke context (Doel 1) maar ook bv. sabotage in Doel 4, de ontdekking van waterstofinsluitels in de reactorvaten van Doel 3 en Tihange 2, enz.). In die publicatie werd gekeken wat voor effect het uitvallen van de nucleaire elektriciteitsproductie op de groothandelsprijzen voor elektriciteit in België had. In het kader van de regeringsonderhandelingen in 2020 werd aan het Federaal Planbureau

gevraagd om zich opnieuw te buigen over de impact op het Belgische elektriciteitslandschap van het al dan niet verlengen van 2 nucleaire reactoren.

Er worden 2 rapporten van het Federaal Planbureau gepresenteerd:

- het verslag "Impact van het pact" (FPB, 2018: <https://www.plan.be/uploaded/documents/201802260841090.OPREP201802.pdf>)
- Het rapport "Doorrekening 2019" van de verkiezingsprogramma's van politieke partijen (FPB 2019: https://www.plan.be/uploaded/documents/201901111049100.DC2019_Startnota_118_49_N.pdf). (Wettelijke opdracht van het Federaal Planbureau volgens de wet van 2014)

A. Methodologie: Crystal Super Grid Model

Beide rapporten berusten op een kwantitatief model, het *Crystal Super Grid model*, dat een "Unit commitment, optimal dispatch" model is. Units zijn hierbij de verschillende technologieën die kunnen worden gebruikt om elektriciteit op te wekken. Die "Units" kunnen in "aan"-modus staan (d.w.z. "gecommit" zijn) of niet: zonnepanelen kunnen bv. enkel elektriciteit produceren als er ook zonlicht is. Commitment is niet typisch aan hernieuwbare energiebronnen: gasgestookte installaties en kernreactoren kunnen ook al dan niet "gecommit" zijn (geen productie wegens onderhoud enz.). In het model moet dus worden ingegeven wanneer de installaties al dan niet in de mogelijkheid zijn elektriciteit te produceren.

Wat de "optimal dispatch" betreft, wordt berekend hoe alle eenheden die "gecommit" zijn optimaal worden ingezet om de minimale systeemproductiekosten te bekomen: men tracht dus de minimum productiekosten van het volledige systeem te becijferen. Daarbij wordt ook naar interconnecties met het buitenland gekeken, daar het op bepaalde momenten interessanter kan zijn om elektriciteit in of uit te voeren.

Verdere eigenschappen van het model:

- Uurlijks vraagprofiel (belangrijk verschil met het model van EnergyVille, waar met het TIMES-model werd gewerkt, dat een energiesysteemmodel is dat ruimer kijkt dan elektriciteit en werkt met 10 typische dagen van het jaar, en daarin telkens blokken van 2 uur): hier worden 8 760 resultaten berekend, nl. voor elk uur van het jaar. Men kijkt dus uur per uur hoe het systeem gaat evolueren en of op elk moment het toereikend zal zijn om de vraag te dekken. Dat is noodzakelijk voor systemen met een grote penetratie van variabele hernieuwbare energie (zon en wind).
- Ingezet voor horizon 2030; ook horizon 2050 werd bestudeerd in een studie in 2020 (https://www.plan.be/uploaded/documents/202010210453210.WP_2004_FUELFORUTURE_12221.pdf).
- Erg geschikt om de interne Europese markt te bekijken.

B. Resultaten Pact-studie (2018)

a) Marginale systeemkosten

Een indicator die werd bestudeerd zijn de marginale systeemkosten. De marginale systeemkosten zijn de variabele productiekosten (brandstofkosten, kosten voor de aankoop

van CO₂-emissierechten, enz.) van de marginale eenheid, d.w.z. de laatste eenheid die wordt aangezet om de volledige vraag naar elektriciteit te dekken in de betrokken zone. Ze kunnen worden beschouwd als een proxy voor de elektriciteitsprijs op de groothandelsbeurzen, maar niet als de prijs die particulieren of industriële consumenten betalen (geen taksen, heffingen, enz.).

In de studie werden de marginale systeemkosten van 2 scenario's in 2030 vergeleken:

- (1) Alle kernreactoren worden volgens de wettelijke kalender (laatste eind 2025) gesloten;
- (2) Twee reactoren krijgen een operationele werkingsduurverlenging van 10 jaar toegekend.

Hieruit blijkt dat er een groot deel van de tijd (meer dan de helft) geen verschil is in marginale systeemkosten. Er zijn weliswaar momenten waar de marginale systeemkosten (veel) lager zijn als men 2 reactoren verlengt, maar ook omgekeerd gaan er momenten zijn waar er hogere prijzen zullen zijn indien de 2 reactoren worden verlengd. Gemiddeld gezien is de invloed op de marginale systeemkosten negatief (dus lagere gemiddelde marginale systeemkosten bij verlenging van 2 reactoren).

b) Invloed op de netto-invoer:

Hier werd gekeken naar 2 families van modellen: de REF-familie (referentiecasse) en Pact-familie (gedefinieerd door het Kabinet van de toenmalige federale minister van energie en ambitieuzer in termen van hernieuwbare energie, verwijst naar het energiepact). De 2 bovenstaande scenario's werden voor die 2 families vergeleken.

Hieruit bleek dat een 2 GW-verlenging van de kernenergie resulteert in een lagere netto-invoer van elektriciteit (dus er wordt minder elektriciteit ingevoerd en meer uitgevoerd). Echter, de verschillen tussen de REF-scenario's en de Pact-scenario's blijken op dit vlak veel groter te zijn dan het verlengen van 2 kerncentrales. Een van de verschillen tussen de REF- en Pact-scenario's is immers de buitenlandse context (de veronderstellingen m.b.t. wat er gebeurt met steenkool in Duitsland, kernenergie in Frankrijk, enz.): de externe context van de scenario's heeft dus een veel grotere impact op de netto-invoerstromen dan wanneer men enkel naar de verlenging van de 2 centrales kijkt.

c) Energiehandelsbalans:

(Handelsbalans specifiek voor elektriciteit en aardgas bedoeld voor elektriciteitsproductie)

Ongeacht het scenario verslechtert naar 2030 toe het energiehandelsbalansdeficit ten opzichte van 2015 (of blijft in het beste geval hetzelfde). Als de 2 scenario's met elkaar worden vergeleken, vermindert dit energiehandelsbalansdeficit met tussen 750 en 900 miljoen euro indien 2 reactoren worden verlengd.

Het energiehandelsbalansdeficit is in de loop van de tijd toegenomen (tussen 2011 en 2015), maar ook de compositie van dat deficit is gewijzigd (toegenomen aandeel van elektriciteit en daling van het aandeel van aardgas). In 2015 was er een ongeveer gelijke verdeling tussen elektriciteit en aardgas. Projecties na 2015³¹ tonen dat de energiehandelsbalans verslechtert,

³¹ De studie werd in 2018 gepubliceerd en beschikte toen over de statistieken tot 2015.

behalve in het Pact-scenario met 2 GW kernenergie, waarin dat deficit op hetzelfde niveau blijft als in 2015. In veel gevallen heeft dat te maken met de extra invoer van elektriciteit, alsook de extra aankoop van aardgas.

d) Werkgelegenheid

Er werd ook gekeken naar de werkgelegenheidsimpact van een eventuele verlenging van nucleaire reactoren. Gezien de korte tijd die ter beschikking stond, werd dit kwalitatief gedaan en aangevuld met enkele kwantitatieve elementen op basis van bestaande studies.

Eerst en vooral moet de sector juist worden gedefinieerd: productie van elektriciteit, transport en distributie van elektriciteit, enz. Er moet ook rekening gehouden worden met het feit dat er van de 7 reactoren 5 sowieso sluiten, zodat er in alle gevallen een impact is op de werkgelegenheid. Bovendien heeft ENGIE gezegd dat er, indien in 2025 alle reactoren worden stilgelegd, sowieso nog voor 10- 20 jaar tussen 1 000 en 1 200 mensen nodig zullen zijn om die uitfasering zo veilig mogelijk te begeleiden en het nodige studiewerk te verrichten, de ontmanteling, afvalberging, afbraak van de site, enz. veilig te laten verlopen, enz.³²

Bovendien blijkt de arbeidsintensiteit veel groter voor hernieuwbare energie en energie-efficiëntie dan voor thermische centrales. Hernieuwbare energie en energie-efficiëntie (isolatie van gebouwen, efficiëntie-maatregelen) creëren voor eenzelfde capaciteit aan geproduceerde of bespaarde energie veel meer jobs dan thermische centrales. Als bv. voor een capaciteit van 1 GW zonnepanelen worden geïnstalleerd, zullen daar veel meer jobs voor nodig zijn dan voor dezelfde capaciteit aan kernreactoren.

Daarnaast zijn er in die waardeketen ook andere operatoren (bv. de systeemoperator), die, omwille van de toenemende nood aan flexibiliteit en variabele hernieuwbare energie, massaal jobs creëren en aan het aanwerven zijn. Dus ook in andere plaatsen worden jobs gecreëerd, omdat het systeem gaat veranderen van grote thermische centrales naar eerder kleinschaligere, decentrale opwekkingstechnologieën.

Een laatste overweging is dat, als de wettelijke context voor de kernuitstap opnieuw in vraag gesteld of zelfs herzien zou worden, dat opnieuw voor de nodige onzekerheid kan zorgen. De wet werd in 2003 gestemd, in 2015 bekrachtigd en in 2020 opnieuw bekrachtigd in het regeerakkoord. Mochten er nu toch 2 reactoren openblijven, kan dat omwille van de investeringsonzekerheid prijseffecten op de markt hebben, ook in andere sectoren, waar er ook gevolgen kunnen zijn op de werkgelegenheid.

C. Resultaten van de doorrekening 2019

In 2019 heeft het Planbureau voor het eerst een doorrekening ondernomen van de verkiezingsprogramma's krachtens de wet van 2014. Daarbij werden voor 13 partijen meer dan 300 maatregelen becijferd, waaronder de berekening van de impact van het langer openblijven van 2 kernreactoren (NVA) in tegenstelling tot een maatregel waarbij de kernuitstap bleef behouden en meer werd ingezet op zonne- en windenergie (Groen). Er werden een heel aantal indicatoren doorgerekend, bv. impact op de CO₂-uitstoot door de

³² Die cijfers bevinden zich ook op de site van het nucleair forum.

elektriciteitssector in België en in Europa, maar ook economische parameters zoals consumenten- en producentensurplus³³ (per technologie).

Op deze basis heeft het Federaal Planbureau berekend dat, indien 2 kernreactoren zouden openblijven, deze in 2030 op jaarbasis 14 TWh zouden produceren en de CO₂-emissies in de Belgische elektriciteitssector met 4,4 miljoen ton CO₂-equivalenten zouden dalen. Daar in bv. 2018 de totale broeikasgasemissies in België ca. 120 Mt CO_{2eq} bedroegen, gaat het om een beperkt percentage, dat bovendien opgenomen is in de ETS-sector.

De bevindingen van het Federaal Planbureau (*Impact van het Pact (2018): Bijkomende cijfers ter staving van een energiepact*) sluiten aan bij die van EnergyVille, namelijk dat het niet verlengen van de 2 kernreactoren na 2025 een negatieve maar beperkte impact heeft op de marginale kost van het energiesysteem en op de CO₂-uitstoot. Het effect op de CO₂-uitstoot wordt bovendien beperkt door de deelname aan het Europese ETS-systeem (*Emissions Trading System* ; emissiehandelssysteem), dat op Europees niveau een bovengrens vaststelt voor de industriële CO₂-uitstoot. In dit verband moet ook worden gewezen op het verhoogde (moeilijk te kwantificeren) risico van verplaatsing van activiteiten buiten Europa. (dat zou kunnen worden tegengegaan door het Europese CBAM-project (*Carbon Border Adjustment Mechanism*) dat in de Green Deal wordt beschreven). Een ander risico dat moet worden vermeld, is dat het na 2030 moeilijker kan worden om het ETS-emissieplafond te verlagen.

De twee studies dragen bovendien elementen aan wat het beheer van de pieken in het elektriciteitsverbruik betreft: een grotere flexibiliteit van de gascentrales in vergelijking met de kerncentrales (EnergyVille) en de ontwikkeling van de interconnecties (Federaal Planbureau). In de scenario's van France Stratégie (2021) m.b.t. België wordt echter het probleem van de winterpiekvoorziening bij lage temperaturen ook in de omringende landen aan de orde gesteld.

In deze studies is geen rekening gehouden met de potentiële rol van de waterstofsector. Er zij aan herinnerd dat de significante impact van deze sector, die nog in ontwikkeling is, immers niet vóór 2030 wordt verwacht.

3.3.3 Stabieliteit van het elektriciteitsnet

Het net stabiel houden vereist dat de productie en het verbruik van elektriciteit te allen tijde aan elkaar gelijk zijn. Indien er meer verbruik dan productie is, dan treden er tekorten op. Indien er meer productie dan verbruik is, dan treedt congestie op. Beide fenomenen kunnen aanleiding geven tot ernstige problemen, eventueel met een black-out als gevolg.

Traditioneel was elektriciteitsproductie vraaggestuurd: men produceerde simpelweg de elektriciteit die op ieder moment nodig was. Door het inschatten van het verbruik kon men op voorhand reeds thermische centrales (kolen, gas, nucleair) opstarten en klaar voor productie hebben. Met de introductie van hernieuwbare energie wordt de productiekant echter variabel. Hernieuwbare energieproductie hangt immers af van de hoeveelheid wind en zon. Elektriciteitsproductie moet echter steeds gelijk blijven aan verbruik, dus moeten er reserves achter de hand gehouden worden.

³³ producentensurplus: de prijs die de producent krijgt min de variabele productiekosten, hierbij wordt bv. geen rekening gehouden met verjongingsinvesteringen of andere kapitaalkosten.

Reserves zijn mechanismen die aan de productiekant toelaten om energieproductie te verhogen (*upwards*) of te verlagen (*downwards*), en aan de verbruikskant toelaten om energieverbruik te verhogen (*downwards*) of te verlagen (*upwards*). Bij onevenwichten die de stabiliteit van het elektrisch net bedreigen worden deze reserves door transportnetbeheerder Elia ingezet om het evenwicht te herstellen.

Vroeger leverden thermische centrales, waaronder kerncentrales en gascentrales een groot deel van deze reserves. Sinds enkele jaren spelen kerncentrales geen rol van betekenis meer, voor het leveren van reserves zijn ze quasi volledig vervangen door batterijen en vraagbeheer (dat is het aanpassen van het elektriciteitsverbruik bij grote verbruikers).

Kerncentrales leveren wel een belangrijke bijdrage aan de inertie of traagheid van het elektrische net. Deze inertie is de mate waarin het elektrische net bestand is tegen plotse wijzigingen van energieproductie en verbruik. Het activeren van reserves kost namelijk enige tijd, en inertie overbrugt dit tot de reserves geactiveerd zijn.

Hernieuwbare energie levert wegens technische beperkingen geen inertie. Dit kan in de toekomst wel wijzigen.

De uitstap uit de kernenergie betekent geen problemen voor de stabiliteit van het Belgische net, gezien de kerncentrales vervangen worden door gascentrales. Gascentrales kunnen ook zowel inertie als reserves leveren. In de toekomst kunnen gascentrales eventueel door geavanceerde vormen van hernieuwbare energie en batterijen vervangen worden, die ook inertie en reserves kunnen leveren.

Met toenemende hoeveelheid hernieuwbare energie neemt ook de hoeveelheid variabiliteit aan de productiekant toe. Dit betekent dat er een toenemende nood zal zijn aan andere flexibele vormen van productie en verbruik, om zo het evenwicht op het elektrische net te bewaren. Wegens technische en economische redenen leveren de Belgische kernreactoren weinig tot geen flexibiliteit. Hierdoor dreigt een moeilijke situatie te ontstaan in combinatie met grote hoeveelheden hernieuwbare energie, een situatie die we nu al regelmatig zien op zonnige weekends met weinig elektriciteitsverbruik. In die zin is de kernuitstap dus goed voor de verdere toename van hernieuwbare energie. ENTSO-E, de Europese koepelorganisatie van alle transportnetbeheerders maakt regelmatig een overzicht van de vooruitgang van alle technologische onderzoeksprojecten en hoe deze bijdragen aan de netstabiliteit. Deze draaien quasi allemaal omtrent het decentraliseren en beter interconnecteren van de energieopwekking in Europa³⁴.

Ook de CIRED, de jaarlijkse internationale conferentie van de distributienetbeheerders en – sector besluit dat een meer gedistribueerde manier van energieopwekking leidt tot een grotere ‘resiliency’ ofte weerstand tegen disruptieve verstoringen zoals (gelokaliseerde) natuurrampen, cyberaanvallen en technische problemen bij individuele generatoren³⁵.

Het is ook belangrijk erop te wijzen dat de ENTSO-E opmerkt dat diverse netbeheerders, waaronder die van Duitsland maar ook het Belgische, Elia, hun ontwikkelingsplannen gericht hebben op een gedecentraliseerde netontwikkeling die tot 100% hernieuwbare energieopwekking moet kunnen ondersteunen. Deze keuze is ingegeven door de keuze voor kernuitstap in de desbetreffende landen. Het feit dat Duitsland nu reeds tot 50% van hun elektriciteit uit hernieuwbare bronnen haalt, had zeker niet mogelijk geweest in een ‘business

³⁴ https://consultations.entsoe.eu/r-i/entso-e-rdi-implementation-report-2021-2025/supporting_documents/entsoe_rdi_implementation_report_for%20public%20consultation.pdf

³⁵ <http://www.cired.net/files/download/204>

as usual' scenario zonder kernuitstap. Het "pionierswerk" dat de Duitsers verricht hebben komt nu ook netbeheerders (en inwoners) in andere landen te goede.

De toenemende inzet van hernieuwbare energiebronnen betekent dat de stabiliteit van het elektriciteitsnet dus steeds meer flexibele vormen van productie, maar ook van verbruik, zal vereisen. Hierdoor zal een snelle aanpassing van de netwerkbeheerstrategie en de snellere ontwikkeling van de slimme meters nodig zijn. Bovendien zal de instandhouding van de 50 Hz-netfrequentie die momenteel door grote generatoren wordt geleverd, anders moeten worden aangepakt en zullen de nodige investeringen moeten worden gedaan.

3.3.4 Modaliteiten van de stillegging van kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België

De HGR heeft zich gebogen over de modaliteiten van de stillegging van kerncentrales voor elektriciteitsproductie in België (volledige stillegging in 2025 of verlenging met 10 jaar van 2 recente kerncentrales, voor zover die tweede mogelijkheid nog bestaat).

Wat de ethische aspecten betreft, werd de *Ethics Commission for a Safe Energy Supply* (*Ethik-Kommission Sichere Energierversorgung*, de Duitse ethische Commissie) in de nasleep van de ramp in Fukushima (maart 2011) verzocht een advies te formuleren over de afbouw van de kernenergie in Duitsland. Bijgevolg werd de opzet van dit advies sterk beïnvloed door het risico op een kernramp.

De *Ethics Commission* onderscheidt twee ethische perspectieven op de risico's van kernenergie:

- **Categorische afwijzing:** "De categorische afwijzing van kernenergie oordeelt dat de kans op rampen, de last voor toekomstige generaties en de mogelijkheid van nucleaire straling die ons erfgoed zal aantasten, zo ingrijpend is dat een afweging van de risico's niet mag worden toegestaan." »³⁶
- **Relativerende beoordeling:** "Het uitgangspunt bij de risicobeoordeling is de redenering dat er nooit sprake kan zijn van een nulrisico bij grootschalige technische installaties en dat de risico's bij het gebruik van steenkool, biomassa, waterkracht, wind- en zonne-energie en kernenergie verschillend, maar vergelijkbaar zijn. Aangezien geen van de energieopties zonder risico is, moet om de aanvaardbaarheid te beoordelen een vergelijkende analyse gemaakt worden van de verwachte gevolgen van alle beschikbare opties op basis van wetenschappelijke feiten en ethisch onderbouwde en wederzijds overeengekomen beoordelingscriteria." »³⁷

De *Ethics Commission* vermijdt een keuze tussen deze twee perspectieven door een praktisch compromis aan te bieden. De Commissie oordeelt dat bijna alle wetenschappelijke studies tot de conclusie komen dat hernieuwbare energiebronnen en de verhoging van energie-efficiëntie

³⁶ "The categorical rejection of nuclear energy evaluates the potential for catastrophe, the burden for future generations and the possibility of nuclear radiation that will damage our heritage as being so far reaching that a trade-off of the risks should not be permitted."

³⁷ The starting point for the risk assessment is the reasoning that there can never be zero risk for large-scale technical installations and that the risks when using coal, biomass, hydro power, wind and solar power as well as nuclear energy are different but are comparable. As none of the energy options is risk free, the judgement for acceptability rests on a comparative assessment of the anticipated consequences of all available options on the basis of scientific facts and ethically-founded and mutually-agreed assessment criteria.

minder gezondheids- en milieurisico's inhouden dan kernenergie. Voorts is de *Ethics Commission* van oordeel dat de economische risico's van deze alternatieve energiebronnen kunnen worden ingeschat en afgebakend. Op basis van die uitgangspunten concludeert de Commissie dan ook dat een geleidelijke afbouw van kernenergie voor beide perspectieven aanvaardbaar zou zijn.

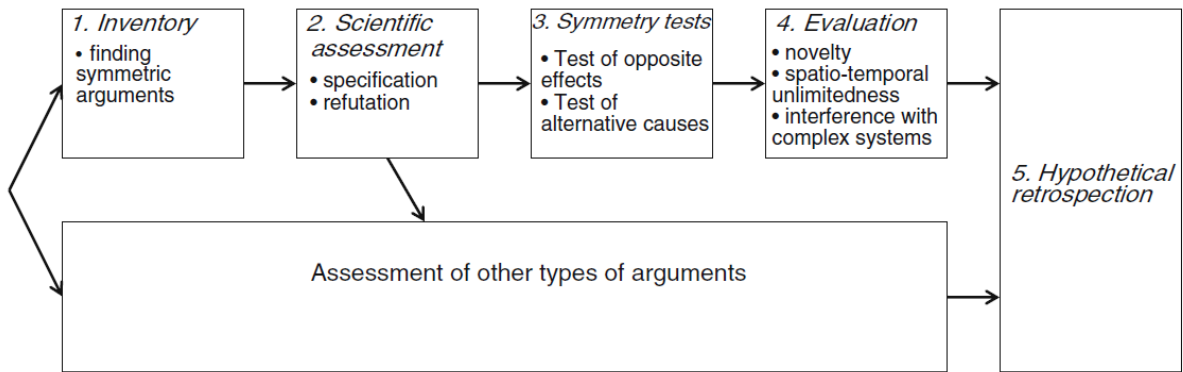
Wel beveelt de commissie aan om de gevolgen van een dergelijke afbouw nauwlettend in het oog te houden op de volgende vlakken:

- milieubescherming;
- voorzieningszekerheid;
- economische haalbaarheid en financiële levensvatbaarheid;
- de sociale aspecten van de kostenverdeling;
- concurrentievermogen;
- onderzoek, onderwijs en innovatie;
- afhankelijkheid van invoer.

Het document van de *Ethics Commission* geeft aanleiding tot enkele opmerkingen:

- Het standpunt van de Commissie moet worden omschreven als een *ethisch-politieke consensus*: er mag niet worden vergeten dat het besluit van de Commissie werd gesteund door een grote partijbrede consensus over de noodzaak van een geleidelijke afbouw van kernenergie tegen 2022.
- Ook het industriebeleid speelde een rol, aangezien Siemens zich in 2011 had teruggetrokken uit de kernenergiesector.
- Duitsland zal tegen 2022 17 kerncentrales buiten werking hebben gesteld over een periode van 20 jaar (wat ongeveer overeenkomt met 29% van de nationale elektriciteitsvraag). België daarentegen is van plan 7 kerncentrales te sluiten, goed voor ongeveer 50% van de nationale elektriciteitsvraag, in minder dan 5 jaar (hoewel de wet op de uitstap uit de kernenergie aan de overheid voldoende tijd heeft gegeven zich hierop voor te bereiden).
- Ondanks de aanbeveling van de *Ethics Commission* om de kernenergieproductie te vervangen door hernieuwbare energiebronnen en gas, is de steenkoolgebaseerde productie aanzienlijk gestegen om de verdwenen nucleaire capaciteit te compenseren. Dat heeft geleid tot aanzienlijke gezondheids- en milieuschade. Vóór 2020 was de koolstofprijs op de ETS-markt simpelweg te laag, waardoor steenkoolcentrales een concurrentievoordeel hadden ten opzichte van gascentrales. Het argument dat de extra broeikasgassen veroorzaakt door de afbouw van kernenergie 'automatisch' zullen worden gecompenseerd door een vermindering van de broeikasgassen elders in de EU, geldt dus alleen in de veronderstelling dat er een voldoende sterk prijssignaal op de ETS-markt is.

Hansson (2011) stelt bovendien een nuttige methodologie voor om systematisch na te denken over de onzekere gevolgen van besluitvorming over het (niet-)gebruik van een toekomstige technologie. Het hiernavolgende diagram geeft de stappen van zijn methodologie weer.



Figuur : A five-step procedure for coping with mere possibility arguments (5-stappen procedure voor het omgaan met loutere-mogelijkheid-argumenten) van : Hansson, S.O. Coping with the Unpredictable Effects of Future Technologies. Philos. Technol. (2011) 24:137–149, p. 140.

Voor elk van de stappen zijn de volgende punten van belang:

1. **Inventarisatie:** vertrek van een 'lange lijst' van argumenten zowel voor als tegen de beslissing die u wilt nemen. Beoordeel de wetenschappelijke kracht van deze argumenten nog niet (dat komt in een volgende stap). Zorg voor een eerlijke verdeling van de voor- en tegenargumenten.
2. **Wetenschappelijke beoordeling:** geef nadere invulling aan de "loutere mogelijkheid" argumenten in de inventaris, in termen van waarschijnlijkheden of uitkomsten van het besluit. Zie welke argumenten op wetenschappelijke gronden weerlegd kunnen worden.
3. **Symmetrietest:** hierbij wordt getest of
 - a. de beslissing over het (niet-)gebruik van een toekomstige technologie het tegenovergestelde effect kan veroorzaken van wat u beoogt. Indien dat tegenovergestelde effect belangrijkere gevolgen heeft, of van groter moreel belang is, dan moet de beslissing worden ingetrokken;
 - b. er andere oorzaken zijn die kunnen leiden tot het negatieve effect dat u probeert te vermijden. In dat geval moet de besluitvorming ook proberen om de alternatieve oorzaken van hetzelfde effect te verhelpen.
4. **Evaluatie:** de resterende risico's of onzekerheden moeten worden geëvalueerd in termen van hun gevolgen en waarschijnlijkheden. Bijzondere aandacht moet uitgaan naar risico's of onzekerheden die:
 - a. nieuw zijn, d.w.z. nog niet goed bekend in de wetenschap
 - b. moeilijk te beperken zijn in tijd en ruimte
 - c. interageren met complexe systemen die niet volledig kunnen worden gecontroleerd, zoals de ecologie of de economie
5. **Hypothetische retrospectie:** hierbij plaatst u zichzelf op het eindpunt van mogelijke toekomstige uitkomsten van de beslissing, en vraagt u zichzelf af: "*Met wat ik toen wist (d.w.z. nu), had ik dit resultaat dan kunnen vermijden?*".

Uiteindelijk zal de volledige aanvaardbaarheid van beslissingen die het (niet-)gebruik van toekomstige technologieën impliceren, waarschijnlijk niet kunnen worden gegarandeerd. Politiek engagement kan (en mag) niet worden vermeden.

Toegepast op België, doen deze overwegingen en analyses de HGR uitkomen bij het volgende resultaat.

In het geval van een volledige kernuitstap in 2025 zijn de voornaamste risico's:

- het niet tijdig kunnen doorvoeren van de belangrijke technologische en industriële ontwikkelingen die nodig zijn om tot een schoon en duurzaam energiesysteem te komen;
- het toegenomen (maar moeilijk te kwantificeren) risico van verplaatsing van activiteiten buiten Europa (dat echter zou kunnen worden tegengegaan door het in de Green Deal beschreven Europese CBAM-project (*Carbon Border Adjustment Mechanism*)) en het risico dat het na 2030 moeilijker wordt om het ETS-emissieplafond te verlagen;
- de geplande aanpassingen aan het net en de interconnecties (met inbegrip van de aanleg van nieuwe onderzeese transmissielijnen);
- risico's in verband met de beschikbaarheid van grondstoffen voor hernieuwbare energie (geopolitieke afhankelijkheid);
- de prijzen van grondstoffen die nodig zijn voor hernieuwbare energiebronnen;
- het risico van moeilijkheden bij de invoer van elektriciteit op een ogenblik waarop zich strategische veranderingen dreigen voor te doen in het energiebeleid van de landen die met ons verbonden zijn, met name Frankrijk;
- de mogelijke bevoorradingsproblemen tijdens de winterpiek, indien ook de buurlanden getroffen zijn.

Indien twee kerncentrales eventueel nog 10 of 20 jaar in bedrijf zouden blijven,

- is het voornaamste risico dat van een kernongeval met potentieel catastrofale gevolgen vanwege de onmiddellijke nabijheid van zeer kwetsbare locaties zoals de regio Antwerpen. Dit risico ligt ten grondslag aan het standpunt van de *German Ethics Commission (Ethics Commission for a Safe Energy Supply, 2011)*.
- Daar komt nog bij dat de hoeveelheid kernafval toeneemt (plus 4%/1000 MWe/10 jaar), terwijl dit een van de grootste problemen van kernenergie vormt in termen van duurzame ontwikkeling en het passief dat uit het afval uit het verleden voortvloeit, nog lang niet weggewerkt is. Het is niet wenselijk om de hoeveelheid afval door een verhoogde productie of door nucleair onderzoek significant te doen toenemen zolang er in Europa geen beproefde geologische bergingsoplossing is.
- Men moet er zich van bewust zijn dat de bovengenoemde risico's met betrekking de "volledige" kernuitstap in 2025 hoe dan ook, althans gedeeltelijk, zullen bestaan als gevolg van de sluiting van vijf van de zeven centrales. Ook mag niet worden vergeten dat de grote productie-eenheden kwetsbaarder zijn.
- Er bestaat ook het gevaar dat de aanzienlijke industriële inspanning voor transitie, massale ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen en gedecentraliseerde ontwikkeling van het elektriciteitsnet worden belemmerd of uitgesteld en dat het historische moment wordt gemist waarop deze inspanningen onder de juiste voorwaarden kunnen worden geleverd, zowel in politiek opzicht als in technisch, intellectueel en wetenschappelijk opzicht.
- Ten slotte is er de internationale dimensie van de Belgische beslissing. Gekoppeld aan een onverminderde ambitie om de Europese en internationale klimaatdoelstellingen te respecteren, zou zij een aanmoediging betekenen om op

wereldniveau versneld de weg naar hernieuwbare energie op te gaan. Hoewel het vooruitzicht van een klimaatwijziging ernstige gevolgen zal hebben en maatregelen met de hoogste prioriteit vereist, kan de verdere uitbouw van nucleaire energie, onder voorbehoud van belangrijke technologische evoluties, niet als een duurzame oplossing worden beschouwd.

3.3.5 *Conclusies*

De HGR concludeert uit deze studies dat een kernuitstap mogelijk is voor België, tegen een relatief beperkte kostprijs, ook in termen van CO₂-impact. Hij wenst tevens te benadrukken dat, ongeacht de verlenging of de stillegging van 2 GW aan kernenergie, de transitie een vastberaden politieke wil op regionaal, Belgisch en Europees niveau zal vergen om zo snel mogelijk voor de nodige technologische en industriële ontwikkelingen te zorgen. Een van de prioriteiten is op tijd te beschikken over gascentrales met gecombineerde cyclus en de overgang te plannen naar blauwe waterstof, waarvoor aanzienlijke CO₂-opvang- en -opslag- of -gebruikscapaciteiten vereist zijn (per ton waterstof wordt 8 ton CO₂ uitgestoten - Proost, 2021, blz. 7). Er zullen ook investeringen nodig zijn op het gebied van energieopslag, netwerkbeheer, de interconnecties, de ontwikkeling van de waterstofsector en de levensduur en recycling van qua grondstoffen kritische consumptiegoederen. De HGR herinnert er ook aan dat het grootste deel van de CO₂-uitstoot niet afkomstig is van de elektriciteitsproductie (amper 14 % van het totaal), maar van de verwarming van gebouwen (vooral in de tertiaire sector), het vervoer en het gebruik van fossiele grondstoffen in de zware industrie en de verwerkende industrie (cf. Eggermont 2021 ; klimaat.be), en dat in deze sectoren de nodige inspanningen zullen moeten worden geleverd en meer selectieve investeringen worden gedaan.

Wat de modaliteiten van de uitstap uit de kernenergie betreft (onmiddellijke algehele uitstap of geleidelijke uitstap, voor zover de mogelijkheid van een geleidelijke uitstap nog steeds actueel is), concludeert de HGR dat er argumenten zijn voor en tegen de eventuele verlenging van twee kernreactoren na 2025 maar dat er geen markante elementen zijn die een keuze in de ene of de andere richting zouden "opleggen". Elke optie houdt risico's in, die weliswaar van verschillende aard zijn en verschillende implicaties hebben op economisch en ethisch vlak, op het vlak van de energievoorzieningszekerheid, van het leefmilieu en van de volksgezondheid.

3.4 Gevolgen van de uitstap uit de kernenergie (in 2025 of later) en gevolgen voor de organisatie van de nucleaire veiligheid

3.4.1 *Milieueffectbeoordeling*

De wettelijke uitstapkalender beoogt de sluiting van alle kerncentrales op de sites van Doel en Tihange tussen oktober 2022 en december 2025, hetzij een verlies van 6 000 megawatt elektrisch basisvermogen op amper 38 maanden tijd. Deze vrij abrupte sluitingskalender was niet voorzien in de oorspronkelijke wet op de kernuitstap van januari 2003 (Koninkrijk België, 2003), waarin de opeenvolgende sluitingen waren gespreid over een periode van 120 maanden. De huidige kalender is mede het resultaat van de levensduurverlenging (*Long Term Operation* (LTO)) van de 3 oudste kerncentrales met 10 jaar die - achteraf beschouwd - wellicht niet nodig was geweest om de elektriciteitsbevoorrading te verzekeren.

De levensduurverleningen voor de 3 oudste kerncentrales werden door de wetgever, de toenmalige regeringen en de bevoegde veiligheidsautoriteit toegestaan zonder de organisatie van een milieueffectbeoordeling (MEB) en zonder grensoverschrijdende publieke raadpleging. Naar aanleiding van het arrest C-411/17 van het Hof van Justitie van de Europese Gemeenschappen (juli 2019) zullen dergelijke inbreuken op een fundamenteel milieurechtsprincipe niet langer mogelijk zijn en dit niet alleen in ons land en in de Europese Unie, maar zelfs in het ganse rechtsgebied van het internationaal verdrag van Espoo inzake grensoverschrijdende milieueffectrapportage. Het Grondwettelijk Hof heeft aansluitend op dit arrest de LTO-wet (wet van 28/6/2015, koninkrijk België, 2016) voor Doel-1 en 2 vernietigd, mits behoud van de gevolgen ervan tot uiterlijk 1 januari 2023.

Om de wet opnieuw te kunnen nemen en de wettelijke uitstapkalender te kunnen handhaven heeft de minister van Energie een milieueffectbeoordeling georganiseerd voor de LTO van Doel-1 en 2, met een grensoverschrijdende raadpleging van het publiek in een straal van 1.000 km.

3.4.2 *Nucleaire risico's na de sluiting van de Belgische kerncentrales*

De radiologische en nucleaire risico's waartegen de Belgische bevolking adequate bescherming behoeft, spruiten niet alleen voort uit een ongeval in één van 7 Belgische kernreactoren waarvan de stopzetting is geprogrammeerd. De volgende installaties, sectoren en activiteiten zullen de nodige aandacht blijven vereisen:

- kerncentrales in de buurlanden (Gravelines, Chooz, Borsele);
- andere installaties uit de splijtstofcyclus (opslag van bestraalde splijtstof);
- de nucleaire onderzoeksfaciliteiten (SCK CEN);
- de aanwending van industriële bronnen van ioniserende straling en hun productie;
- medische bronnen en hun productie (IRE, cyclotrons);
- het transport van radioactieve bronnen;
- de ontmanteling van afgedankte installaties (kerncentrales, sites BP 1/BP2³⁸);
- de behandeling en berging van radioactief afval;
- natuurlijke bronnen (radon, norm-materialen, kosmische straling, enz.);
- militaire bronnen (incl. het non-proliferatiebeleid);
- de terroristische dreiging (beveiliging van installaties, screening van personeel).

Een reeks factoren die medebepalend zijn voor de doeltreffendheid van de geboden bescherming, moet daarom ook na de kernuitstap verzekerd blijven:

- a. Veiligheidscultuur bij de gebruikers van bestaande infrastructuur en promotors van nieuwe infrastructuur;
- b. Gepast toezicht (slagvaardige onafhankelijke instanties, met voldoende en bekwaam personeel, financiële middelen, expertise, ingebed in internationale structuren);
- c. Gepaste regelgeving t.b.v. gebruikers, toezichthoudende instanties en rechten publiek;
- d. Paraatheid voor eventuele noodsituaties, adequate opvang van slachtoffers en gedupeerden tijdens en na een calamiteit (bv. verzekeringen, enz.);

³⁸ voormalige Eurochemic-fabriek en voormalig departement "Waste" genaamd passiva BP1/BP2

- e. Transparantie t.o.v. stakeholders en alle tussenkomende partijen zoals regering/parlement/beroepsinstanties/toezichtinstanties/ngo's;
- f. Evaluatie- en adviesmogelijkheden door derden (bv. HGR, Wetenschappelijke Raad voor Ioniserende Stralingen van het FANC, peers, enz.).

Bovendien heeft het creëren en operationaliseren van de actuele nucleaire veiligheidsstructuur FANC-Bel V op het federale niveau meer dan 10 jaar gevegd: de FANC-wet werd aangenomen in 1994; de raad van bestuur van het FANC werd geïnstalleerd in 1997; het FANC heeft zijn kerntaken opgenomen in 2001; fysieke beveiliging werd pas na 2001 een kerntaak van het Agentschap; Bel V werd eind 2008 gecreëerd als een dochteronderneming van het FANC om in zijn opdracht de inspecties ter plaatse in de kerninstallaties uit te voeren; in de periode 1994 -2021 heeft het FANC opeenvolgend 4 directeurs-generaal en 12 toezichthoudende ministers gekend.

De HGR benadrukt dat de organisatie van de nucleaire veiligheid in al zijn facetten volledig operationeel moet blijven, ook na de sluiting van de kerncentrales en dat de ontstaansgeschiedenis van het FANC bewijst dat de opbouw van een nieuwe veiligheidsorganisatie na de kernuitstap moet worden vermeden, omdat dit het veiligheidsbeleid gedurende lange tijd dreigt te verlammen.

3.4.3 Fundamentele kenmerken van nucleaire veiligheid: gevolgen van de kernuitstap

De wijze waarop de nucleaire veiligheid in ons land is georganiseerd vertoont 5 fundamentele kenmerken:

1. Exclusieve federale bevoegdheid: de bescherming tegen ioniserende straling en het beheer van radioactief afval vormen een uitzondering op de gewestelijke milieubevoegdheid;
2. Onafhankelijke federale regulatoren FANC - NIRAS (met uitzondering van de functie van operator);
3. Inspectie en controle ter plaatse in de vergunde inrichtingen via publiek-private-samenwerking (de private stichting Bel V, erkende instellingen zoals Vinçotte);
4. Financiering volgens het principe 'de vervuiler betaalt' (dus geen staatssubsidiëring): FANC: heffingen ten laste van de exploitanten (bedrag bepaald door wetgever); Bel V: contractuele aanrekening (ondanks intenties van de wetgever);
5. Kruissubsidiëring van opdrachten in de niet-energetische sectoren via de inkomsten uit de kernenergiesector.

De kernuitstap zal deze vijf kenmerken sterk onder druk zetten, met aanzienlijke bedreigingen:

1. De *ratio legis* voor het behoud van de federale bevoegdheid wordt aangetast en zal ongetwijfeld onder de aandacht komen bij een volgende staatshervorming die momenteel in voorbereiding is
2. Een regionalisering bedreigt het voortbestaan van de onafhankelijke federale instellingen (FANC, NIRAS).

3. Het financieringsmechanisme van de veiligheidsautoriteiten slaat om in een overheidsdotatie.
4. De publiek-private-samenwerking (PPS) kraakt in zijn voegen: is er nog wel voldoende kritische massa om het voortbestaan van Bel V als zelfstandige entiteit te verzekeren eens de ontmanteling van de kerncentrales van start is gegaan?
5. Het mechanisme van de kruissubsidiëring valt weg, waardoor een desintegratie van de diverse taakstellingen dreigt met een afslanking van het FANC tot zijn kerntaken en een verlies van expertise bij de veiligheidsautoriteiten voor de opvolging van complexe installaties.

De HGR wenst dus nu reeds de denkoefening te lanceren over de mogelijke gevolgen van de kernuitstap voor de organisatie van de nucleaire veiligheid in combinatie met een mogelijke nieuwe staatsvorming na 2024.

De HGR pleit voor het behoud van de bevoegdheid inzake ioniserende straling op het federale beleidsniveau. De financiële en veiligheidsrisico's verbonden aan dit beheer vergt een gecentraliseerde en eenvormige aanpak.

Als de kritische massa onvoldoende is om Bel V als zelfstandige entiteit te behouden, kan een integratie in het FANC worden overwogen. De centrale aansturing van de erkende controle-instellingen in de medische en industriële sectoren kan verder behouden blijven.

De eventueel afgeslankte expertise binnen de veiligheidsautoriteiten zou hun capaciteit kunnen aantasten om gepast toezicht uit te oefenen op de vergunningverlening en uitbating van complexe installaties (bv. Myrrha), zodat in dat geval een structureel beroep dient gedaan op buitenlandse, Europese en internationale expertise.

3.4.4 Financiering van de veiligheidsautoriteiten

Het FANC stelt momenteel 160 personeelsleden tewerk. Zijn werking wordt grotendeels gefinancierd via de opbrengst van heffingen ten laste van de kernexploitanten, waarvan het bedrag is bepaald door de wetgever. De heffingen voor de 7 kerncentrales in exploitatie bedroegen gezamenlijk 21,7 M€ in 2021 en vertegenwoordigen ca. 75% van de inkomsten van het FANC (mogelijks is dit nog een onderschatting wegens het niet in rekening brengen van ontvangsten die slechts indirect verbonden zijn met de werking van de kerncentrales).

De kernuitstap heeft grote financiële gevolgen voor het FANC omdat deze heffingen vervangen zullen worden door de (nu reeds voorziene) heffingen voor kerncentrales in ontmanteling. De heffingen voor de 7 in ontmanteling zijnde kernreactoren bedragen gezamenlijk slechts 3 M€ (waarde 2021), wellicht te betalen uit de ontmantelingsprovisies aangelegd door Synatom. Deze toestand zal zich voordoen vanaf 2029, aangezien de heffing voor een kerncentrale in uitbating verschuldigd blijft tot de ontmantelingsvergunning is afgeleverd, ca. 3 jaar na de stillegging.

Tegen 2029 vallen de FANC-inkomsten terug van bijna 3 M € op 1 M€. Een mogelijke oplossing bestaat in het toekennen van een overheidsdotatie vanuit de (federale) staatskas, wat onvermijdelijk de onafhankelijkheid van het FANC t.o.v. de regering zal aantasten (verklaring van minister Verlinden in de subcommissie Nucleaire Veiligheid van de Kamer van Volksvertegenwoordigers op 19 januari 2021).

Bel V, met 65 universitairers in dienst, had in 2019 een omzet van 13 M€ (80% personeelskost) grotendeels t.b.v. het kernpark. Zijn financiering verloopt via contractuele aanrekening aan de kernexploitant.

Het Crisiscentrum van de FOD Binnenlandse Zaken ontvangt jaarlijks een heffing van ca. 4 M€ (waarde 2017) van de uitbater van de 7 kerncentrales voor het operationeel houden van het nucleair noodplan (bv. jodiumtabletten, sirenenetwerk, personeelskosten, communicatie-infrastructuur, enz.). Eens de kerncentrales uit dienst zijn vervalt deze heffing.

Na de kernuitstap zijn in beperkte mate besparingen mogelijk op de uitgaven van de veiligheidsautoriteiten omdat bepaalde uitgaven komen te vervallen. Zo kan bijvoorbeeld de uitbating van het TELERAD-netwerk³⁹ rond de nucleaire sites van Doel en Tihange afgebouwd worden, maar het landsbedekkend net en het permanent radiologisch toezicht op het leefmilieu blijven noodzakelijk wegens de aanwezigheid van kerncentrales in de buurlanden (de financiering zit vervat in de FANC-heffing die komt te vervallen). Om dezelfde reden blijft ook het nucleair noodplan onontbeerlijk. Volgens verklaringen van de voogdijminister van het FANC vormen de kerncentrales “slechts een klein onderdeel van de activiteiten van het FANC”, waaruit de overmatige kruissubsidiëring van zijn activiteiten blijkt (zie hoger). De besparingen zullen zich vooral voordoen bij de personeelsuitgaven van Bel V, die in zijn voortbestaan bedreigd wordt eens de ontmantelingsvergunningen zijn verleend.

Ook binnen de uitgaven van NIRAS zijn kruisgesubsidieerde activiteiten identificeerbaar (bv. insolventheidsfonds, financiering weesbronnen).

Het probleem van de financiering van de veiligheidsautoriteiten na de kernuitstap blijft dus niet beperkt tot deze van het FANC, maar omvat ook deze van Bel V en het crisiscentrum van de FOD Binnenlandse Zaken voor wat betreft het nucleair noodplan. Tezamen gaat het om meer dan 30 M€ per jaar vanaf 2029. Opgemerkt zij dat de financieringsproblematiek van de veiligheidsautoriteiten en de impact ervan op hun werking gemilderd zou worden in het scenario van de levensduur-verlenging van Doel-4 en Tihange-3, waardoor een minder bruuske reorganisatie mogelijk wordt.

De HGR pleit voor een globale aanpak. Het bedrag van de wettelijk vastgestelde heffing voor een kerncentrale in ontmanteling ten behoeve van het FANC is op vrij arbitraire wijze vastgesteld. De contractuele aanrekening van de activiteiten van Bel V plaatst deze laatste in een grote afhankelijkheidspositie t.o.v. de niet langer productieve kernexploitant. De integratie van Bel V in de schoot van het Agentschap kan worden aangegrepen om de FANC-heffing ten laste van de kernexploitant en gefinancierd door de kernprovisiemaatschappij Synatom te herzien. Aldus wordt een partiële financiering van het FANC via heffingen, met de daaraan verbonden juridische zekerheid, op lange termijn behouden. Ook andere heffingen, bv. ten laste van het SCK•CEN (Myrrha) en NIRAS (berging) kunnen desnoods worden aangepast om aldus de onafhankelijke financiering van het Agentschap te garanderen.

Het instellen van een aanvullende overheidsdotatie voor de financiering van het FANC kan ertoe leiden dat het kerntakendebat van het FANC op het gebied van nucleaire veiligheid en beveiliging op scherp wordt gesteld. Dit zou tot een omgekeerde evolutie kunnen leiden als deze tijdens zijn wordingshistoriek met een desintegratie als gevolg. De meerwaarde van een conglomeratie van verschillende opdrachten inzake stralingsbescherming in de schoot van het FANC mag hierbij niet veronachtzaam worden. De HGR waarschuwt voor het uitkleden van het Agentschap tot een zuivere regulator voor zware nucleaire infrastructuur.

³⁹ TELERAD : automatisch netwerk voor het meten van radioactiviteit op afstand op het Belgische grondgebied, bestaande uit 254 stations op 31/12/2020

Op basis van het principe 'de vervuiler betaalt' zou de financiering van bepaalde uitgaven - zoals deze voor het nucleair noodplan, TELERAD en het radiologisch toezicht - voortaan ten laste gelegd moeten worden van de kernexploitanten in onze buurlanden. België zou in dit kader kunnen pleiten voor een Euratom-financiering ten laste van de landen met kerninstallaties. Zo niet zullen ook deze uitgaven voortaan ten laste vallen van de staatsbegroting.

3.4.5 *Ontmanteling en kernaafval*

Nadat de kernreactoren op de nucleaire sites van Doel en Tihange uit dienst zijn genomen zullen de betrokken installaties normaliter vrij snel ontmanteld worden. Daarbij wordt geopteerd voor een ontmanteling van de verschillende eenheden in serie. Alvorens de eigenlijke ontmanteling kan starten is een ontmantelingsvergunning vereist die na een MEB verleend wordt door de veiligheidsautoriteiten, wat enkele jaren in beslag kan nemen. Inmiddels kan de splijtstof uit de kernreactoren worden ontladen en kunnen de installaties worden ontsmet. Deze operaties zijn op beide sites reeds in voorbereiding (opslaggebouwen voor gebruikte splijtstofpakketten in Doel en Tihange). Niets wijst erop dat de kernexploitant de eigenlijke ontmanteling op de lange baan wil schuiven, maar zuiver juridisch gezien is een zogenaamde 'uitgestelde ontmanteling' ook niet uitgesloten. In dat geval zouden de stilgelegde reactoren voor meerdere decennia ongemoeid kunnen worden gelaten. De ontmanteling blijft een verantwoordelijkheid van de vroegere kernexploitant. De financiering van deze industriële activiteit is voorzien via de kernprovisies die inmiddels zijn aangelegd bij de kernprovisiemaatschappij Synatom en die tegen eind 2025 zullen zijn volgestort. De financiële onzekerheden zijn beperkt en zelfs indien deze provisies onvoldoende zouden blijken te zijn, blijft de kernexploitant wettelijk gezien verantwoordelijk om de ontbrekende middelen ter beschikking te stellen. Zijn internationale reputatie zijn daarbij een bijkomende waarborg.

In het geval van een levensduurverlenging van Doel-4 en Tihange-3, zal de ontmanteling van de andere stilgelegde eenheden wellicht met eenzelfde periode worden uitgesteld, om de operaties in serie mogelijk te maken en om te vermijden dat zware afbraakwerkzaamheden worden ontplooid naast een werkende kerncentrale. Dit uitstel mag niet worden aanzien als een poging tot uitgestelde ontmanteling.

Het afval dat bij de ontmanteling wordt voortgebracht zal door NIRAS worden overgenomen in de geplande oppervlaktebergingsinrichting te Mol-Dessel waarvoor de vergunning bij het FANC is aangevraagd. De provisies voor het afvalbeheer zullen geleidelijk aan NIRAS worden overgedragen naarmate het ontmantelingsafval in eigendom wordt overgenomen door NIRAS. Ook hier lijken de financiële risico's al bij al beperkt. Grote hoeveelheden gerecupereerde bouwmaterialen zullen daarbij worden 'vrijgegeven', als niet radioactief afval wanneer zij de opgelegde normen daartoe niet overschrijden. De bestemming ervan zal mede door de bevoegde (regionale) overheden worden opgevolgd.

De bestraalde kernsplijtstof ontladen uit de stilgelegde reactoren blijft op beide sites opgeslagen voor een periode van ca. 80 jaar. Dit is momenteel ook reeds het geval voor de splijtstof die in het verleden werd ontladen en die niet kon worden afgevoerd naar een opwerkingsfabriek. Het statuut van deze splijtstoffen (afval of grondstof) is momenteel niet vastgelegd, ondanks de Europese richtlijn 2011/70/Euratom voor een verantwoord en veilig beheer van bestraalde splijtstof en radioactief afval. Wegens het ontbreken van een goedgekeurd lange-termijn-beheersplan voor de bestraalde splijtstof verkeert ons land formeel in een situatie waarbij inbreuk wordt gepleegd op de Europese regelgeving. De

splijtstoffen blijven al die tijd eigendom van Synatom die het exclusieve beheer ervan onder zich heeft en de provisies beheert.

De financiële onzekerheden rond de provisies voor het beheer van de bestraalde splijtstof aangelegd door de kernexploitanten (Electrabel) in de schoot van de kernprovisiemaatschappij Synatom is heel wat groter dan deze rond de ontmantelingsprovisies. De cumulatief opgebouwde provisies bij Synatom bedragen vandaag reeds 14 miljard euro (Commissie voor Nucleaire Voorzieningen, 2020). Verdere aangroei door nieuwe kapitaalsverhogingen is mogelijk tot aan de sluiting van de kerncentrales in 2025. Daarna zijn in beginsel nog enkel rentestijgingen (actualisatie) mogelijk. De toereikendheid en de beschikbaarheid van de provisies wordt opgevolgd door de Commissie voor de Nucleaire Voorzieningen, ingesteld door de wet van 2003, waarin zowel NIRAS als het FANC vertegenwoordigd zijn.

Bij een eventuele levensduurverlenging van Doel-4 en Tihange-3 met 10 jaar is er een nieuwe periode van 10 jaar beschikbaar voor verdere kapitaalsverhogingen genereerd door deze 2 kerncentrales, indien daartoe behoefte zou zijn. De splijtstofprovisies zullen uiteraard verder toenemen naarmate er nieuwe splijtstof wordt ontladen. In tegenstelling tot de ontmantelingsprovisies zullen deze voor de splijtstof bij Synatom blijven zolang er geen eigendomsoverdracht is naar NIRAS.

In haar verslag van 2019 heeft de Commissie voor de Nucleaire Voorzieningen (jaarverslag 2019) aangedrongen op een beslissing van de overheid omtrent de eventuele opwerking van de kernsplijtstof zoals voorzien in het referentiescenario van Synatom. Het blijft evenwel een raadsel in welke installatie dit dan wel zou moeten gebeuren, want daartoe is de bouw vereist van een nieuwe opwerkingsfabriek in het Franse La Hague waartoe een beslissing ontbreekt.

De bestraalde splijtstof, al of niet opgewerkt, dient op termijn ondergebracht in een diepe geologische bergingsinrichting. Zelfs indien de bestraalde splijtstof niet wordt opgewerkt, dan nog is een berging in de diepe ondergrond niet op korte termijn haalbaar gezien de vereiste afkoelingsperiode. Het principe van de aanleg van een dergelijke inrichting op Belgisch grondgebied is tot op heden niet genomen, laat staan op welke locatie, in welke gastformatie en op welke diepte. Deze situatie drukt op de financiële onzekerheden omtrent de toereikendheid en de beschikbaarheid van de daartoe gereserveerde provisies. NIRAS heeft recent een nieuw financieel referentiescenario aangenomen voor de berekening van de kosten, waarbij wordt uitgegaan van een diepte van 400 m i.p.v. 250 m en waarbij de start van de uitbating met 30 jaar wordt uitgesteld naar de periode 2050-2135.

De HGR pleit ervoor om de mogelijkheid van een zogenaamde uitgestelde ontmanteling van de kerncentrales juridisch onmogelijk te maken. Ook de langdurige opslag van bestraalde kernsplijtstof op de sites van Doel en Tihange, gedurende meerdere decennia, lijkt de HGR niet wenselijk eens de kerncentrales zijn ontmanteld en beide sites zijn vrijgegeven. Bovendien is de toestand van deze splijtstoffen in hun containers voor droge opslag over verschillende decennia niet gewaarborgd.

Synatom, dochter van Electrabel en de Belgische Staat (de Staat heeft een zogenaamd gouden aandeel), heeft de exclusiviteit over het beheer van de bestraalde splijtstof voortgebracht door de kerncentrales en beheert als kernprovisiemaatschappij de provisies die

de elektriciteitssector (Electrabel en Luminus) aanlegt voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van de bestraalde splijtstof.

De kernuitstap dwingt tot een diepgaande evaluatie van de overheidsinvloed op het beleid van Synatom als exclusieve beheerder van de bestraalde kernsplijtstof en als kernprovisievennootschap (cf. regeerakkoord), gezien de omvang en de tijdschaal van de financiële risico's die hier op het spel staan. De regeringscommissaris in de raad van bestuur van Synatom, houder van de golden share dient structureel te worden betrokken bij de werking van de Commissie voor de Nucleaire Voorzieningen.

De bevoegdheden van de Commissie voor de Nucleaire Voorzieningen zijn louter van financiële aard. Het beleid van Synatom over de bestraalde splijtstof ontsnapt thans aan de controle van de veiligheidsautoriteiten, ondanks de controle voorzien in art. 179, §3 van de wet van 1980, en dit bij gebrek aan een nationaal beleid dat is vastgesteld krachtens § 6 van dezelfde wet. De HGR stelt voor een einde te stellen aan de exclusiviteit van Synatom over het beheer van de bestraalde splijtstof zoals toegekend door de Belgische Staat middels het BKB•BCN-protocol (Belgische Maatschappij voor Kernbrandstoffen) uit 1981.

3.4.6 Conclusies

De HGR wijst erop dat na de (onmiddellijke of geleidelijke) stillegging van de kerncentrales de nucleaire veiligheidsrisico's ook in de toekomst zullen blijven bestaan (ca. een eeuw voor de buitenbedrijfstelling gevolgd door het beheer van de buitenbedrijfstelnde nucleaire sites; cf. de hoorzittingen van Electrabel, het FANC en NIRAS in de Kamer op 1 en 29 juni en 6 juli)⁴⁰ en aan de nodige controles en maatregelen moeten worden onderworpen: tijdelijke opslag van verbruikte splijtstof, installaties voor nucleair onderzoek (SCK CEN), industriële en medische bronnen en de productie daarvan (IRE, BR2, cyclotrons), vervoer van bronnen, ontmanteling van nucleaire installaties. De kwestie van het beheer van het kernafval en de financiering daarvan blijft een zware erfenis. **De HGR beveelt aan op korte termijn een beslissing te nemen over de geologische berging van hoogradioactief afval.** Dit besluit zal worden gevolgd door een 15-jarig selectieproces van de site, zoals voorgesteld door NIRAS en rekening houdend met de vereisten van het FANC. Dit laat voldoende tijd om na te gaan of er in de nabije toekomst een oplossing kan worden verwacht die op basis van wederkerigheid met de buurlanden wordt overeengekomen, of zelfs een Europese oplossing.

Zoals hierboven is opgemerkt, is er nog veel aandacht nodig voor de nucleaire noodplannen, zowel voor onze kerncentrales zolang die in bedrijf zijn als voor de risico's van buitenlandse kerncentrales die zich in de nabijheid van onze grenzen bevinden. Ook de risico's van terrorisme en cyberaanvallen zullen blijven bestaan en onze noodplannen moeten daarop berekend zijn.

Een belangrijk probleem waarmee rekening moet worden gehouden, is dus het behoud van voldoende nucleaire deskundigheid, ook door het opleiden van de deskundigen die in de toekomst nodig zullen zijn.

De uitstap uit de kernenergie zal ook gevolgen hebben voor de organisatie van de nucleaire veiligheid en beveiliging. Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) wordt grotendeels gefinancierd uit de vergoedingen van de exploitanten van kerncentrales, terwijl

⁴⁰ Hoorzittingen van de Subcommissie voor de Nucleaire Veiligheid dit jaar : Hoorzittingen van 1 juni 2021 (FANC) (<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1793>), 29 juni 2021 (Engie) (<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1944>) en 6 juli 2021 (NIRAS)(<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1971&offset=8889>)

de activiteiten van het FANC veel zaken buiten de kerncentrales bestrijken, vooral op medisch gebied (kruissubsidiëring). Het moet mogelijk zijn om, althans gedeeltelijk, naar een dotatiesysteem over te gaan. De toekomst van Bel V (publiek-private partnerschap) is onzeker en zal moeten worden opgelost. Ten slotte zou de exclusieve federale bevoegdheid op nucleair vlak ter discussie kunnen worden gesteld. **De HGR pleit daarentegen voor een meer Europees en minder geregionaliseerd beheer van complexe vraagstukken met meervoudige grensoverschrijdende gevolgen.** Complexe technologische projecten zoals het MYRRHA-project dat door België (in de eerste fase met steun van de EG) op het SCK CEN in Mol wordt ontwikkeld, zitten ook aan de grens van de beoordelings- en risicobeheersingsbevoegdheid van een klein land, wat meer samenwerking op Europees niveau zou vereisen, zoals die in de VS is georganiseerd. Tot slot zou de vervroegde sluiting, vanaf 1 januari 2025, van de oudste reactoren kunnen worden overwogen overeenkomstig de nietigverklaring door het Grondwettelijk Hof van de rechtsgrondslag voor hun exploitatie na die datum, als gevolg van de uitspraak van het Europees Hof van Justitie dat voor de vergunning van de verlenging een milieueffectbeoordeling vereist. Dit zou geen problemen mogen opleveren omdat er regelmatig een overschot aan kernenergie is, dat zelfs de stopzetting of vermindering van de productie van windenergie noodzakelijk maakt.

3.5 Energietransitie, duurzame ontwikkeling en maatschappelijk model

De wereld begint steeds beter het existentiële gevaar te begrijpen en te erkennen van de klimaatverandering als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen, naast de rampzalige gevolgen voor de gezondheid van de vervuiling die door de meeste fossiele brandstoffen wordt veroorzaakt. Een snelle energietransitie is nodig, samen met alle maatregelen die deze uitstoot kunnen verminderen (landbouw, voeding, strijd tegen ontbossing, enz.).

De HGR zou willen afsluiten door te benadrukken dat de noodzakelijke energietransitie die in Europa (*Green Deal*) en elders in gang is, verenigbaar moet blijven met de beginselen van duurzame ontwikkeling en niet mag leiden tot nieuwe onevenwichtigheden en nieuwe risico's, met name voor de meest kwetsbare bevolkingsgroepen in Europa en in de wereld. Er zal aan meerdere (ethische, economische, sociologische, enz.) uitdagingen in termen van beleidsintegratie het hoofd moeten worden geboden: respect voor het milieu, bescherming van de watervoorraden en waterkwaliteit, aandacht voor de gezondheid van de werknemers en de bevolking in de mijnbouwlanden, hier en elders, circulaire economie (winning, ontwerp, bestrijding van snelle veroudering, recycling), zorg voor billijkheid binnen en tussen de generaties (redelijk beheer van de hulpbronnen waarbij de toegang tot grondstoffen voor toekomstige generaties wordt gewaarborgd).

De HGR is van mening dat dit alleen mogelijk zal zijn door, in een geest van kritische moderniteit en billijkheid, te aanvaarden dat het paradigma van onbeperkte groei ter discussie wordt gesteld, door op individueel en collectief niveau processen van innovatie in het beheer van het openbaar goed te ontwikkelen, en door na te denken over een nieuw economisch paradigma dat niet gekoppeld is aan consumptie, alsook over creatieve processen van sociaal billijke en positieve heruitvinding van levensstijlen (zie ook de verklaring van de *Nobel Prize Summit*, 2021).

V REFERENTIES

AEN – Agence pour l'Énergie Nucléaire, OCDE – Organisation de Coopération et de Développement Économiques. Cycles du combustible nucléaire avancés et gestion des déchets radioactifs. 2006.

Ahn A, Teplinsky E, McMurray N, Rampal B, Gilbert A, Merrifield J et al. Advanced Reactors: Turning the Corner. Advanced Nuclear Energy; 2021.

Alvarez R. Can the Energy Department store 50 tons of weapons-grade plutonium for 10,000 years? Bulletin of the Atomic Scientists; 2021.

ASN - Autorité de Sûreté Nucléaire. Rejets thermiques des centrales nucléaires. 2003. Available from: <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Rejets-thermiques-des-centrales-nucleaires>

ASN - Autorité de Sûreté Nucléaire. Avis sur la gestion des matières et déchets radioactifs. 2021.

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire. Décision n° 2021-DC-0706 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 février 2021 fixant à la société Électricité de France (EDF) les prescriptions applicables aux réacteurs des centrales nucléaires du Blayais (INB n° 86 et n° 110), du Bugey (INB n° 78 et n° 89), de Chinon (INB n° 107 et n° 132), de Cruas (INB n° 111 et n° 112), de Dampierre-en-Burly (INB n° 84 et n° 85), de Gravelines (INB n° 96, n° 97 et n° 122), de Saint-Laurent-des-Eaux (INB n° 100) et du Tricastin (INB n° 87 et n° 88) au vu des conclusions de la phase générique de leur quatrième réexamen périodique. République Française; 2021. p. 1-25.

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire. Les cahiers de l'ASN n°3 - 10 ans après Fukushima : Quelles améliorations pour la sûreté des installations nucléaires en France ? 2021.

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire. Les objectifs de sûreté de WENRA concernant les nouvelles centrales nucléaires sont toujours d'actualité et constituent le minimum à atteindre par les petits réacteurs modulaires. 2021. Available from: <https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/les-objectifs-de-surete-de-wenra-concernant-les-nouvelles-centrales-nucleaires>

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire. Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020. 2021.

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire. Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020. Protéger et accompagner les populations à la suite d'un accident nucléaire. 2021. p. 28-9.

Baetslé L. Status and Assessment report on actinide and fission product partitioning end transmutation. Systems Studies, Expert Group Report OECD. Paris; 1999.

Balonov M. Health Effects of Reactor Accidents with Special Regards to Chernobyl – A Review Paper. Japanese Journal of Health Physics 2019;54:161-71.

Bezât JM. La course aux petits réacteurs nucléaires est lancée. Le Monde; 2021.

Boileau C. Une enquête lève le voile sur les mensonges de l'URSS à propos de Tchernobyl. La Libre; 2021.

Available from : <https://www.lalibre.be/planete/sante/2021/08/04/ce-que-revelent-les-archives-sovietiques-sur-tchernobyl-YYIX5PDSYFCTXBGJ5I67HNEHPY/>

Bombaerts G, Eggermont G. Afvalbeheer en controle loslaten, over participatie bij berging van nucleair afval. Oikos; 2009.

Borrie J. An Introduction to Implementing the Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons. Journal for Peace and Nuclear Disarmament 2021;4:1-12.

Bradshaw M. Gas price spike: how UK government failures made a global crisis worse. The Conversation.com; 2021.

Available from: <https://theconversation.com/gas-price-spike-how-uk-government-failures-made-a-global-crisis-worse-168324>

Brown K. Tchernobyl par la preuve - Vivre avec le désastre et après. Actes Sud; 2021.

Brown P. Weatherwatch: nuclear power plants feel the heat. The Guardian; 2018.

Available from: <https://www.theguardian.com/news/2018/sep/07/weatherwatch-nuclear-power-plants-feel-the-heat>

CEA – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives. Elecnuc 2019 - Les centrales nucléaires dans le monde. 2019.

Available from: <https://www.cea.fr/>

Chapman G, Earnhardt R, Hobbs C, Roth N, Salisbury D, Stoetzel A et al. Nuclear Security in Times of Crisis. Centre for Science & Security Studies; 2021.

Chayapathi L, Laes E, Meskens G. Kernenergie (on)besproken: een geschiedenis van het maatschappelijke debat over kernenergie in België. ACCO Leuven; 2008.

Clark B, Sokolski H. Military micro-reactors: Waging yesterday's wars while losing the future's. Defense News; 2021.

Available from: <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2021/06/15/military-micro-reactors-waging-yesterdays-wars-while-losing-the-futures/>

CNDP - Commission Nationale du Débat Public. Débat National de gestion des matières et déchets radioactifs (2019-21) - Comment gérer les déchets issue d'un accident nucléaire. Gravelines; 2019.

COMEST - Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (UNESCO). Le principe de précaution. Paris; 2005.

CNV - Commissie voor nucleaire voorzieningen. Jaarverslag 2019 van de advies- en controlecommissie over de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van bestraalde splijtstoffen. Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. 2019.

CNV - Commissie voor nucleaire voorzieningen. Jaarverslag 2020. Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. 2020

Cornelis G., Eggermont, G. Nuclear Terror. Reflections on Precaution and Ethics. Academia Press, Ghent, 2006.

CPN - Comité du programme national. Programme national de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs. 2015.

De Kamer. Opname van de subcommissie voor de nucleaire veiligheid: de nucleaire ontmanteling. Hoorzitting Engie. 2021.

Available from: <http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1944>

De Kamer. Opname van de subcommissie voor de nucleaire veiligheid: de nucleaire ontmanteling. Hoorzitting van het FANC. 2021.

Available from: <http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1793>

De Kamer. Opname van de subcommissie voor de nucleaire veiligheid: de nucleaire ontmanteling. Hoorzitting NIRAS. 2021.

Available from:

<http://www.dekamer.be/media/index.html?language=nl&sid=55U1971&offset=8889>

De Koning B. VVD maakt belastingbetaler rijp voor dure kerncentrales. Follow the Money; 2021.

De Temmerman G. Nuclear fusion breakthrough: what do new results mean for the future of 'infinite' energy? The Conversation; 2021.

Available from: <https://theconversation.com/nuclear-fusion-breakthrough-what-do-new-results-mean-for-the-future-of-infinite-energy-166456>

Delair M, Pellerin-Carlin T. La transition énergétique allemande. Bilan de 20 ans de choix politiques. Policy Paper 270; 2021.

Available from: <https://institutdelors.eu/publications/la-transition-energetique-allemande/>

Dessus B. Lutte contre l'effet de serre : omerta sur le méthane. 2016.

Available from: <https://www.alternatives-economiques.fr/environnement/lutte-contre-leffet-de-serre-omerta-sur-le-methane-201604281353-00003367.html>

Devogelaer D. Fuel for the future - More molecules or deep electrification of Belgium's energy system by 2050. Federal Planning Bureau; 2020.

Draulans D, Van Ypersele JP. Het Klimaatalarm. Knack - bijlage; 2020.

Available

from:

https://messagent.roulartamail.be/optiext/optiextension.dll?ID=vHKuxeO5p6ulCEmgYHSvM6i_rdMpbF%2BP0xjxVlckkSi9gkOI2m79QpthKEce5Zuz4zatVvks0OF8YV

EC - European Commission. Treaty establishing the European Atomic Energy Community (EURATOM). Rome; 1957.

EC - European Commission. Consolidated version of the treaty establishing the European atomic energy community. OJ L 203 of 07 June 2010, p. 1 – 112.

EC - European Commission. Council directive 2011/70/EURATOM of 19 July 2011 establishing a community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste. OJ L 199 of 02 August 2011, p. 48 – 56.

EC - European Commission. Recent scientific findings and publications on the health effects of Chernobyl - Summary report. Radiation Protection n° 170; 2011.

Available from: <https://ec.europa.eu/energy/node/1215>

EC - European Commission. Fukushima – Lessons learned and issues. Radiation Protection n° 183; 2016.

Available from: <https://ec.europa.eu/energy/node/1215>

EC - European Commission. Emerging issues with regard to organ doses. Radiation Protection n° 187; 2017.

Available from: <https://ec.europa.eu/energy/node/1215>

EC - European Commission. Epigenetic effects - Potential impact on radiation protection : proceedings of a scientific seminar held in Luxembourg on 8 November 2017. 2019.

Available from: <https://ec.europa.eu/energy/node/1215>

EC - European Commission. The European Green Deal. Brussels; 2019.

Available from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

EC - European Commission. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability. Brussels; 2020.

Available from: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>

EC - European Commission. Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation'). JRC Publications Repository; 2021.

Eggermont G. Redt Kernenergie het Klimaat? Of stappen we er nu echt uit? Webinar van 01 februari 2021.

Available from: <https://www.grootoudersvoorhetklimaat.be/events/webinar-kernenergie-eggermont/>

Eggermont G, Baetslé L, Bonne A, Van Geen R. The Safety and Feasibility Assessments of nuclear waste options -SAFIR- A Belgian Case study From acceptance to prevention of nuclear waste and chemical waste – a shift in TA. 2nd European Congress of Technology Assessment, Milano; 1990.

Eggermont G, Hugé J. New Perspectives for Radiation Protection concepts in the frame of sustainability. Reykjavík: NSFS Conference; 2011.

Eggermont G, Hugé J. Nuclear Energy Governance, Deliverable 4.1, SEPIA project. Brussels: Belgian Science Policy; 2011.

Eggermont G, Smeesters P, Feltz B, Bovy M. Critical review of ethical and legal issues in the draft 2005 ICRP recommendations. Radiation Protection 2009;150:31-55.

Available from: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/150.pdf>

ELECNUC. Les centrales nucléaires dans le monde. Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives. 2019.

EnergyVille. Belgian Long Term Electricity System Scenarios. 2020.

Available from: <https://www.energyville.be/belgian-long-term-electricity-system-scenarios>

EnergyVille. EnergyVille lanceert aanvullende systeemscenario's voor elektriciteitsvoorziening in België in 2030 en 2050. 2020.

Available from: <https://www.energyville.be/pers/energyville-lanceert-aanvullende-systeemscenario's-voor-elektriciteitsvoorziening-belgie-2030>

Ethics Commission for a Safe Energy Supply. Germany's energy transition – A collective project for the future. Berlin; 2011.

FANC – Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. Class I Guidances. Guideline – Safety Demonstration of new class I nuclear installations – Approach to Defence-in-Depth, radiological safety objectives and application of a graded approach to external hazards. 2017.

Available from: <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/guideline-safety-demonstration-new-classi-installations-rev1-final.pdf>

FANC – Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. Belgian Stress Tests. National Progress Report on the Stress Tests of Nuclear Power Plants. 2019.

Available from: <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2019-03-11-best-2018-final.pdf>

FANC – Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. Advies van het FANC m.b.t het plan over het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval, het bijhorend milieueffectenrapport en de niet-technische samenvatting daarvan. 2020. Advies n° 2020-05-29-FB-5-4-2-NL.

Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. Algemene informatie over de Belgische splijtstofcyclus. Brussel; 2016.

Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. Vergelijkende studie van de beheerstrategieën van de Belgische splijtstof. Brussel; 2017.

Feltz B. Écologie, diversité culturelle et multilatéralisme politique. Bruxelles: Centre d'Action Laïque; 2020. p. 97-112.

Feltz B, Eggermont G. Radiological Protection, on the crossroad of Ethics and Stakeholder Involvement, Precaution and Governance. Academia-Bruylant; 2008. p. 215-24.

Finon D, Gay M. Fuite de l'EPR de Taishan : une manipulation médiatique des Etats-Unis ? Le Monde de l'Énergie; 2021.

FPB - Federaal Planbureau. Energievooruitzichten voor België tegen 2030. Brussel; 2011.

FPB - Federaal Planbureau. Belgische black-outs berekend: Een kwantitatieve evaluatie van stroompannes in België. Brussel; 2014.

FPB - Federaal Planbureau. Drivers of wholesale electricity prices in a small, open economy: Some evidence from the nuclear restart in Belgium. Brussels; 2016.

FPB - Federaal Planbureau. Impact van het Pact: Bijkomende cijfers ter staving van een Energiepact. Brussel; 2018.

Available from:

<https://www.plan.be/uploaded/documents/201802260841090.OPREP201802.pdf>

FPB – Federaal Planbureau. Doorrekening 2019: startnota - Document opgesteld in het kader van de voorbereidende werkzaamheden van de doorrekening van de verkiezingsprogramma's van 2019. Brussel; 2019.

FPB - Federaal Planbureau. Fuel for the future - More molecules or deep electrification of Belgium's energy system by 2050. Brussel; 2020.

FRDO - Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling. Advies over het ontwerp van afvalplan van NIRAS en over haar strategisch milieueffectenrapport. 2010.

FRDO - Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling. Advies over het ontwerpplan van NIRAS betreffende radioactief afval en over het milieueffectenrapport. 2020.

FRDO - Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling. Update 2030 Agenda. 2021.

Gardner T, Shumaker L. U.S. nuclear regulator approves fuel for next-generation reactors. Reuters; 2021.

Available from: <https://www.reuters.com/business/energy/us-nuclear-regulator-approves-fuel-next-generation-reactors-2021-06-14/>

Gilinsky V, Sokolski H. For the NPT to work, plutonium has to go. Bulletin of the Atomic Scientists; 2021.

Available from: <https://thebulletin.org/2021/03/for-the-npt-to-work-plutonium-has-to-go/#:~:text=Plutonium%20pellet.&text=Dealing%20with%20uranium%20enrichment%20is,danger%20we%20can%20eliminate%E2%80%94plutonium>

Gosseries A. Intergenerational Justice. Probing the assumptions, exploring the implications. PhD. Thesis. Louvain-la-Neuve: Université Catholique de Louvain; 2000.

GR – Gezondheidsraad. Advice Prudent Precaution. The Hague; 2008. N° 2008/18^E.

Grondwettelijk Hof. Arrest n° 34/2020 van 5 maart 2020. het beroep tot vernietiging van de wet van 28 juni 2015 « tot wijziging van de wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie met het oog op het verzekeren van de bevoorradingszekerheid op het gebied van energie », ingesteld door de vzw « Inter-Environnement Wallonie » en de vzw « Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen ».. BS van 20 mei 2020.

Available

from:

https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article_body.pl?language=nl&caller=summary&pub_date=20-05-20&numac=2020201499

Habermas J. De l'éthique de la discussion. Paris; 1992.

Hansson SO. Coping with the Unpredictable Effects of Future Technologies. Philos Technol 2011;24:137–49.

Hens T. Het is allemaal de schuld van de Chinezen! En andere dooddoeners over het klimaat. Uitgeverij EPO; 2021.

Available from: www.epo.be

HERCA – Heads of the European Radiological protection Competent Authorities, WENRA – Western European Nuclear Regulators' Association. HERCA-WENRA Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident. Stockholm; 2014.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Public health effects of siting and operating onshore wind turbines - Résumé. Brussel: HGR; 2013. Advies nr. 8738.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Nucleaire ongevallen, leefmilieu en gezondheid in het post-Fukushima tijdperk. Deel: Bescherming van de schildklier. Brussel: HGR; 2015. Advies nr. 9275.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Nucleaire ongevallen, leefmilieu en gezondheid in het post-Fukushimatijdperk: Rampenplanning. Brussel: HGR; 2016. Advies nr. 9235.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Ontwerp van KB tot aanvulling van het KB van 30 november 2011 houdende veiligheidsvoorschriften voor kerninstallaties voor wat betreft de omzetting van de Europese richtlijn 2014/87/Euratom. Brussel: HGR; 2018. Advies nr. 9484.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Farmaceutische producten in het kader van de dreiging van chemisch, biologisch, en radionucleair terrorisme. Brussel: HGR; 2019. Advies nr. 9552.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Fysisch-chemische milieuhygiëne (beperking van de blootstelling aan mutagene of hormoonverstorende agentia) en het belang van blootstelling op jonge leeftijd. Brussel: HGR; 2019. Advies nr. 9404.

HGR – Hoge Gezondheidsraad. Voedingsaanbevelingen voor de Belgische volwassen bevolking met een focus op voedingsmiddelen. Brussel: HGR; 2019. Advies nr. 9284.

HJEU – Hof van Justitie van de Europese Unie. Arrest van het Hof in de zaak C-29/99. Arrest van 10 december 2002.

HJEU- Hof van Justitie van de Europese Unie. Arrest van het Hof (grote kamer) C-411/17 van 29 juli 2019. Inter-Environnement Wallonie ASBL en Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen ASBL vzw/Ministerraad. Verzoek om een prejudiciële beslissing, ingediend door het Grondwettelijk Hof (België).

Howarth RW , Jacobson MZ. How green is blue hydrogen? Energy Sci Eng 2021;00:1–12.

Available from: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-38015-etude-energy-science-engineering-hydrogene-bleu.pdf>

HSE – Health & Safety Executive. The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations. London; 1992.

Hugé J, Waas T, Eggermont G, Verbruggen A. Impact Assessment for a sustainable energy future – reflections and practical experiences. Energy Policy 2011;39:6243-53.
Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511005477>

IAEA - International Atomic Energy Agency. Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. Information circular: INFCIRC/546; 1997.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Nuclear power and sustainable development. Vienna; 2016.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Country Nuclear Power Profiles. Belgium; 2021.
Available from: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Belgium/Belgium.htm>

IAEA - International Atomic Energy Agency. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. Vienna; 2021.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP: Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. ICRP Publication 122; 2013:42.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. ICRP Publication 138; 2018:47.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP: Radiological Protection of People and the Environment in the Event of a Large Nuclear Accident. ICRP Publication 146; 2020:49.

IEA - International Energy Agency. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. 2021.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press; 2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5°C. Switzerland; 2018.

IRSN – Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. Accidents graves des réacteurs à eau de production d'électricité. France; 2008.

Available from: https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/IRSN_reference_Accidents_Graves_REP.pdf

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Rapport DSR N° 157 - Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté. France; 2013.

IRSN - Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue. France; 2019.

Available from:

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2019-00318_Alternatives-Stockage-Geologique-Dechets-HAMAVL.pdf

IRSN - Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. Radioécologie marine: les connaissances progressent. Repères n° 49; 2021.

Jonas H. Le principe responsabilité : Une éthique pour la civilisation technologique. Paris; 1995.

Journal de l'environnement. Nucléaire: le passage des 40 ans s'annonce plus difficile que prévu. 2020.

Journal de l'environnement. Cigeo: l'Ae pas convaincue par le dossier de l'Andra. 2021.

Journal de l'environnement. La Chine ouvre le plus grand marché du carbone du monde. 2021.

Koninkrijk België. Besluit van de Regent van 11 februari 1946 houdende goedkeuring van de titels I en II van het Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming. BS van 03 april 1946. p. 3074.

Koninkrijk België. Besluit van de Regent van 27 september 1947 houdende goedkeuring van de titels III, IV en V van het algemeen reglement voor de arbeidsbescherming. BS van 3 oktober 1947. p. 9040.

Koninkrijk België. Wet van 29 maart 1958 betreffende de bescherming van de bevolking tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren. BS van 30 april 1958. p. 3286.

Koninkrijk België. Koninklijk besluit van 28 februari 1963 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralingen. BS van 16 mei 1963. p. 5206.

Koninkrijk België. Wet van 08 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, artikel 179, § 2 à 11. BS van 15 augustus 1980. p. 9463.

Koninkrijk België. 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. BS van 5 mei 1981. p. 5651.

Koninkrijk België. Wet van 15 april 1994 betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren en betreffende het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. BS van 29 juli 1994. p. 19537.

Koninkrijk België. Wet van 05 mei 1997 betreffende de coördinatie van het federale beleid inzake duurzame ontwikkeling. BS van 18 juni 1997. p. 16270.

Koninkrijk België. Programmawet van 12 december 1997 houdende diverse bepalingen, artikel 9. BS van 18 december 1997. p. 34132.

Koninkrijk België. Wet van 28 mei 2002 betreffende de euthanasie. BS van 22 juni 2002. p. 28515.

Koninkrijk België. Wet van 11 april 2003 betreffende de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestraald in deze kerncentrales. BS van 15 juli 2003. p. 37954.

Koninkrijk België. Wet van 3 juni 2014 houdende wijziging van artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, wat de omzetting in het interne recht betreft van Richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval. BS van 27 juni 2014. p. 48232.

Koninkrijk België. Wet van 28 juni 2015 tot wijziging van de wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie met het oog op het verzekeren van de bevoorradingszekerheid op het gebied van energie. BS van 06 juli 2015. p. 44423.

Koninkrijk België. Koninklijk besluit van 01 maart 2018 tot vaststelling van het nucleair en radiologisch noodplan voor het Belgisch grondgebied. BS van 6 maart 2018. p. 18743-944.

Koninkrijk België. Regeerakkoord. Voor een welvarend, solidair en duurzaam België. 2020.

Kunsch P. An analysis of the electricity transition in Belgium without nuclear energy. Athens; 2021.

Available from: https://www.researchgate.net/publication/353411606_An_analysis_of_the_electricity_transition_in_Belgium_without_nuclear_energy

Laes E. Een ethisch-hermeneutische benadering van het Belgische kernafvalbeleid. *Ethische Perspectieven* 2016;25: 288-300.

Laes E, Couder J, Verbruggen A, Eggermont G. Sustainable Energy Policy Integrated Assessment: "SEPIA" – Final report. BELSPO Brussels; 2011.

Laes E, Eggermont G, Bombaerts G. A risk-governance approach for high-level waste in Belgium: a process appraisal. Stockholm; 2009.

Laes E, Eggermont G, Leroy P, Verpoest I, Bombaerts G, Cauwels P et al. De nucleaire dromen van Bill Gates. De Standaard; 2021.

Laveyne, J., Baetens, J., Van Eetvelde, G., & Vandeveld, L. Addressing the challenges of a nuclear phase-out with energy synergies on business parks. In PROCEEDINGS (Vol. 58). 2020. Available from: [MDPI. https://doi.org/10.3390/WEF-06928](https://doi.org/10.3390/WEF-06928)

Laveyne, J., Zwaenepoel, B., Van Eetvelde, G., & Vandeveld, L. Potential of domestically provided ancillary services to the electrical grid. In 2017 52ND INTERNATIONAL UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE (UPEC). Heraklion, Crete: IEEE. 2017.

Leroy P. Kan de EU Green Deal het klimaat redden? Brugge; 2020.

Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, Haylock R et al. Risk of cancer associated with low-dose radiation exposure: comparison of results between the INWORKS nuclear workers study and the A-bomb survivors study. *Radiat Environ Biophys* 2021;60:23–39.

Libmann J. *Eléments de sûreté nucléaire*. 1996.

Life Span Study (LSS).

Available from: https://www.rerf.or.jp/en/programs/research_activities_e/outline_e/proglss-en/

Limpens G, Jeanmart H, Maréchal F. Belgian Energy Transition: What Are the Options? *Energies* 2020;13:261.

Lovelock J. *Gaia, a new look at life on earth*. Oxford; 1979.

Luongo K. The political challenge of climate innovation and ambition. *Partnership for Global Security*; 2021.

Lyman E. “Advanced” Isn’t Always Better: Assessing the Safety, Security, and Environmental Impacts of Non-Light-Water Nuclear Reactors. *Union of Concerned Scientists*; 2021.

Macfarlane A. The Fukushima accident: Do we have the wisdom to move forward? *Bulletin of the Atomic Scientists*; 2021.

Mallapaty S. China prepares to test thorium-fuelled nuclear reactor. *Nature*, 2021.

Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02459-w>

Martell M, Perko T, Zeleznik N, Molyneux-Hodgson S. Lessons being learned between the Covid-19 pandemic and radiological emergencies: report from experts' discussions. *J Radiol Prot* 2021.

Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens WW. *The limits to growth. A Report for the Club of Rome's project on the Predicament of Mankind*. Universe books, USA; 1972.

Miyazaki H. A Fukushima lesson: Victim compensation schemes need updating. *Bulletin of the Atomic Scientists*; 2021

Miyazaki H. *Nuclear Compensation: Lessons from Fukushima*. Northwestern University Libraries, Evanston; 2021.

NASEM - National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. *Risk Analysis for Nuclear War and Nuclear Terrorism Method. Meeting #3*; 2021.

Available from: <https://www.nationalacademies.org/event/04-21-2021/risk-analysis-for-nuclear-war-and-nuclear-terrorism-method-meeting-3>

Nature. China prepares to test thorium-fuelled nuclear reactor. *Nature* 2021;597:311-2.

Nature. Nuclear power will have a limited role in the world's energy. *Nature* 2021;591:177-8.

Nature. Nuclear technology's role in the world's energy supply is shrinking. Nature 2021;591:177-8.

Available from: https://www.nature.com/articles/d41586-021-00615-w?WT.ec_id=NATURE-20210311&utm_source=nature_etoc&utm_medium=email&utm_campaign=20210311&sap-outbound-id=FE5749F385C1CBED30AF477780BD2C8AE4F8A4FB&fbclid=IwAR3gguNBuPyK6o76kOI9s8_9WsvKfi52qfYNzRGd0CMPSSHUZYzhy8STihU

NEA - Nuclear Energy Agency, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived radioactive waste. An international Peer Review. 2003.

NEA – Nuclear Energy Agency, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Proceedings of the Fifth International Nuclear Emergency Exercise (INEX-5) Workshop. Boulogne-Billancourt, France; 2017.

NEA – Nuclear Energy Agency, OCED – Organisation for Economic Co-operation and Development. State-of-the-Art Report on Molten Corium Concrete Interaction and Ex-Vessel Molten Core Coolability. 2017.

Available from: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_15070/state-of-the-art-report-on-molten-corium-concrete-interaction-and-ex-vessel-molten-core-coolability

NEA – Nuclear Energy Agency, OCED – Organisation for Economic Co-operation and Development. Towards an All-Hazards Approach to Emergency Preparedness and Response: Lessons Learnt from Non-Nuclear Events. 2018.

NEA – Nuclear Energy Agency, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Management and Disposal of High-Level Radioactive Waste: Global Progress and Solutions. 2020.

NEA – Nuclear Energy Agency, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. International Roundtable on the Final Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel: Summary Report. 2020.

NEA – Nuclear Energy Agency, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Long-Term Management and Actions for a Severe Accident in a Nuclear Power Plant: Status Report. 2021.

NEA - Nuclear Energy Agency, OCED – Organisation for Economic Co-operation and Development. Long-Term Operation of Nuclear Power Plants and Decarbonisation Strategies. 2021.

NEA – Nuclear Energy Agency, OCED – Organisation for Economic Co-operation and Development. Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities. 2021.

NEA – Nuclear Energy Agency, OCED – Organisation for Economic Co-operation and Development. Strategies and Considerations for the Back End of the Fuel Cycle. 2021.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. SAFIR: Safety and Feasibility Interim Report.1989.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. Technisch overzicht van het SAFIR 2-rapport — Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, NIROND 2001-05 N, 2001.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. Naar een duurzaam beheer van radioactief afval — Context van het SAFIR 2-rapport, NIROND 01-07 N. 2001.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. SAFIR 2: Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, report NIROND 2001-06 E. 2001.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste. 2003.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. Afvalplan voor het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en overzicht van verwante vragen, rapport NIROND 2011-02 N. 2011.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. Ontwerpplan. Voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval. 2018.

NIRAS - Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen, SCK – Studiecentrum voor Kernenergie. Gemeenschappelijke Scientific Position. Scheiding en transmutatie als mogelijke aanvulling op geologische berging voor een veilig langetermijnbeheer van hoogactief en langlevend radioactief afval . 2019.

Available from:

https://www.sckcen.be/sites/default/files/uploads/News/20200319_Niras_Common%20Scientific%20Position%20Paper/Position%20Paper%20NL.PDF

NIRAS - Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen. Milieueffectenrapport (Strategic Environmental Assessment – SEA) voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval. NIROND-TR 2020-07 N.2020.

Nobel Prize Summit. Nobel Prize Laureates and Other Experts Issue Urgent Call for Action After 'Our Planet, Our Future' Summit. 2021.

Available from: <https://www.nationalacademies.org/news/2021/04/nobel-prize-laureates-and-other-experts-issue-urgent-call-for-action-after-our-planet-our-future-summit>

NTI – Nuclear Threat Initiative. The NTI Nuclear Security Index. Theft / Sabotage / Radiological. 2020.

Onderzoeksraad voor Veiligheid. Samenwerken aan nucleaire veiligheid. Een onderzoek naar de samenwerking tussen Nederland, België en Duitsland inzake de kerncentrales in de grensgebieden. Den Haag: 2008.

Oreskes N, Conway EM. Merchants of Doubt - How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Climate Change. UK; 2010.

Papon P. Les matériaux: un enjeu critique de la transition énergétique. Le Monde de l'Energie; 2021.

Available from: <https://www.lemondedelenergie.com/materiaux-transition-energetique/2021/07/21/>

Pascal A. La population autour des sites nucléaires Français : un paramètre déterminant pour la gestion de crise et l'analyse économique des accidents nucléaires. Radioprotection 2021;47:13-31.

Patarin L, Hayns M, Salo A, Eggermont G, Ahlstrom PE. Five-year assessment of the specific programme : Nuclear Energy: Nuclear Fission and Radiological Sciences. Final report. 2000. Available from: https://fire.pppl.gov/fp5_fission_panel_final.pdf

Perko, Tanja et al. Lessons being learned between the Covid-19 pandemic and radiological emergencies : report from experts' discussions. Journal of radiological protection, 1-13. 2021.

Piguet FP, Eckert P, Knüsli C, Deriaz B, Wildi W, Giuliani G. Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries. Geneva; 2019.

Proost J. The role of (green) hydrogen in the energy transition. 2021.

Available from: <http://hdl.handle.net/2078.1/250434>

Raad van State. Afdeling Wetgeving. Advies 62.592/3 van 3 januari 2018 over een ontwerp van koninklijk besluit 'tot vaststelling van het nucleair en radiologisch noodplan voor het Belgisch grondgebied'.

Available from: <http://www.raadvst-consetat.be/dbx/avis/62592.pdf#search=62.592%2F3>

Ramana MV. Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: a reality check. Canada; 2021.

Available from: <https://www.cndpindia.org/wp-content/uploads/2021/04/Small-Modular-and-Advanced-Nuclear-Reactors-A-Reality-Check-from-IEEE-Access.pdf>

Raspoet E. 'Burgers hebben tijdens een gezondheidscrisis recht op de waarheid': Kernfysicus Gilbert Eggermont over feiten en fictie na 'Chernobyl'. De Morgen; 2020.

République française. Décret no 98-1004 du 30 octobre 1998 portant publication de l'accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume de Belgique sur la centrale électronucléaire de Chooz et les échanges d'informations en cas d'incident ou d'accident (ensemble un échange de lettres), signé à Bruxelles le 8 septembre 1998. JORF n° 0259 du 7 novembre 1998.

République française. La loi no 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

République française - France stratégie. Quelle sécurité d'approvisionnement électrique en Europe à l'horizon 2030 ? France; 2021.

Available from: <http://www.strategie.gouv.fr/publications/securite-dapprovisionnement-electrique-europe-horizon-2030>

Sauer T. Ook na coronacrisis dreigt tekort aan bedden op intensieve zorg bij klimaat- of atoomoorlog. VRTNWS; 2020.

Sauer T, Thakur R. How many intensive care beds will a nuclear weapon explosion require? Bulletin of the Atomic Scientists; 2020.

SCK CEN - Studiecentrum voor kernenergie - Centre d'étude de l'énergie nucléaire. The Safety and Feasibility Assessments of nuclear waste options -SAFIR- A Belgian Case study From acceptance to prevention of nuclear waste and chemical waste – a shift in TA, Authors GE, LB, A.B. and RVG, SCK.CEN R 2862. Milano; 1990.

Smeesters P. Ethical issues debated after Fukushima. In: European Commission. EU Scientific Seminar Fukushima- Lessons learned and issues, Radiation Protection 183, 2016 Available from: <https://ec.europa.eu/energy/node/1215>.

Snykers M, Sohier A, Mertens V, Hardeman F. Eensgezinde aanpak in verscheidenheid. Nabeschouwing over een diepgaand debat. Gent; 2006.

Steel T. We kunnen het probleem van kernafval oplossen. De Tijd; 2021.

Available from: <https://www.tijd.be/ondernemen/chemie/we-kunnen-het-probleem-van-kernafval-oplossen/10274678>

Tansley AG. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. Ecology 1935;16: 284-307.

Teplinsky E, Merrifield JS, Hammond MC, Ahn A, McMurray N, Rampal B et al. Advanced Reactors: Turning the Corner. Advanced Nuclear Energy; 2021.

Tielens, P. & Van Hertem, D. (2016). The relevance of inertia in power systems. In RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS (Vol. 55). Online: DOI10.1016/j.rser.2015.11.016

UCS - Union of Concerned Scientists. Statement on Thorium-fueled reactors. 2019.

Available from: https://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/nuclear_power/thorium-reactors-statement.pdf

UNESCO. Déclaration sur les responsabilités des générations présentes envers les générations futures. Paris; 1997.

UN- United Nations. Universal Declaration of Human Rights. Paris; 1948.

UN- United Nations. NPT_ Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons. 1968.

UN – United Nations. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future (“Brundtland Report”). 1987.

UN- United Nations. Rio Declaration on Environment and Development. United Nations conference on environment and development. 1992.

UN- United Nations. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters. 1998.

Available from: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/cep43e.pdf>

UN- United Nations. The Paris Agreement. France; 2015.

UN- United Nations. TPNW_ - Treaty on the prohibition of nuclear weapons. 2017

UN- United Nations. GSDR - Global Sustainable Development Report. The Future is Now: Science for Achieving Sustainable Development. New York; 2019.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2012 Report - Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Annex A. Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks. 2015 New York; 2015.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2020 Report - Sources, effects and risks of ionizing radiation. 2020.

Uribe EC. Thorium power has a protactinium problem. Bulletin of the Atomic Scientists; 2018.

Available from: <https://thebulletin.org/2018/08/thorium-power-has-a-protactinium-problem/>

Van de Poel J. We staan voor twee decennia monnikenwerk. Ondernemersbedrijf 2021:37-43.

Verbruggen A. Pricing Carbon Emissions - Economic Reality and Utopia. London; 2021.

Verbruggen A, Laes E. Early European experience with tradable green certificates neglected by EU ETS architects. Environ Sci Policy 2021;119:66-71.

von Hippel FN. Bill Gates' bad bet on plutonium-fueled reactors. Bulletin of the Atomic Scientists; 2021.

von Hippel FN. Plutonium programs in East Asia and Idaho will challenge the Biden administration. Bulletin of the Atomic Scientists; 2021.

von Weizsäcker EU, Wijkman A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome. 2018.

Wellerstein A. Counting the Dead at Hiroshima and Nagasaki. Bulletin of the Atomic Scientists; 2020.

Available from: <https://thebulletin.org/2020/08/counting-the-dead-at-hiroshima-and-nagasaki/>

Wellerstein A. Restricted Data: The History of Nuclear Secrecy in the United States. 2021.

WMA - World Medical Association. Déclaration of Helsinki – Ethical principles for medical research involving human subjects. Adopted by the 18th WMA General Assembly. Helsinki; 1964.

WHO – World Health Organization. Effects of nuclear war on health and health services. Geneva; 1984.

WHO – World Health Organization. A Framework for Mental Health and Psychosocial Support in Radiological and Nuclear Emergencies. 2020.

Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015456>

WRR - Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, GR – Gezondheidsraad, ROB – Raad voor het Openbaar Bestuur. Verwerven, waarderen en wegen: De inzet van kennis bij beleidsadvisering in crisistijd. Den Haag; 2021.

Zwaenepoel, B. (2016). Drivers, bottlenecks and opportunities for virtual power plants in the Belgian electricity system. Ghent University. Faculty of Engineering and Architecture, Ghent, Belgium.

VI SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP

De samenstelling van het Bureau en het College alsook de lijst met de bij KB benoemde experts is beschikbaar op de website van de HGR: [wie zijn we?](#).

Al de experts hebben **op persoonlijke titel** aan de werkgroep deelgenomen. Hun algemene belangenverklaringen alsook die van de leden van het Bureau en het College kunnen worden geraadpleegd op de website van de HGR ([belangenconflicten](#)).

De volgende experts hebben hun medewerking en goedkeuring verleend bij het opstellen van het advies. Het voorzitterschap werd waargenomen door **Patrick SMEESTERS** en het wetenschappelijk secretariaat door Evelyn HANTSON en Sandrine EVERAERT.

BLOMMAERT Walter	Nucleaire veiligheid, beheer van nucleair afval, regelgeving	Ex-FANC
BOTERBERG Tom	Radiotherapie, nucleaire radiologische noodplannen	en UGent
DE SMET Delphine	Apotheek, CBRN	FOD Defensie
EGGERMONT Gilbert	Stralingsbescherming, nucleaire veiligheid, afvalbeheer, ontmanteling, milieu en duurzame ontwikkeling	ex-VUB en ex-SCK.CEN
FELTZ Bernard	Filosofie van de levens- en milieuwetenschappen, bio-ethiek, biologie	Ex-UCL Leuven
HENDRICK Patrick	Aëro-Thermo-Mechanica, Mobiliteit en vervoer, hernieuwbare energie	ULB
HENRY Alain	Duurzame ontwikkeling	Federaal Planbureau
JANSSENS Augustin	Stralingsbescherming, ontmanteling en declassering, nucleaire veiligheid, paraatheid bij noodsituaties.	ex-EC
LAES Erik	Filosofie en ethiek van de technologie, duurzaamheid van kernenergie	VITO, Universiteit Eindhoven
LAVEYNE Joannes	Hernieuwbare energie, elektrische energie, opslag	UGent
MICHIELS Jan	Stralingsbescherming, regelgeving, nucleaire veiligheid, crisisbeheer	ex-FANC
MINON Jean Paul	Stralingsbescherming, afval en radioactieve stoffen	ex-NIRAS
MONSIEURS Myriam	Fysieke controle, stralingsbescherming, ontmanteling, noodplanning	UGent
PIRARD Eric	Engineering, geologie, hulpbronnen en energietransitie	ULiège
PROOST Joris	Materiaal- en procestechiek, hernieuwbare waterstof	UCLouvain
SAUER Tom	Internationaal beleid, veiligheid en defensie	UA
SMEESTERS Patrick	Stralingsbescherming, radiobiologie	ex-UCL, ex-FANC

THIERENS Hubert	Stralingsbescherming, dosimetrie	ex-Ugent
VAN LAREBEKE- ARSHODT Nicolas	Toxicologie, carcinogenese en primaire kankerpreventie	ex-Ugent
VAN YPERSELE Jean- Pascal	Klimatologie, duurzame ontwikkeling	UCLouvain

De volgende experts werden gehoord maar waren niet betrokken bij de goedkeuring van het advies.

DEVOGELAER Danielle	Energie, transport	Federaal Planbureau
FANIELLE Sylvain	Politieke wetenschappen, internationaal nucleair recht, veiligheid van radioactieve stoffen in ziekenhuizen	IAEA
LODEWIJKS, Pieter	Energie, klimaatstrategie	EnergyVille
VANDEWALLE André	Nucleaire veiligheid, stralingsbescherming	NSSS, Wetenschappelijke Raad FANC, ex-AVN

De volgende experts hebben een *peer review* van het advies uitgevoerd, maar waren niet betrokken bij de goedkeuring ervan.

Gusbin Dominique	Energie, transport	Federaal Planbureau
------------------	--------------------	---------------------

Drie experts die aan de besprekingen van de werkgroep hebben deelgenomen, gingen niet akkoord met het eindverslag en hebben er uitdrukkelijk om verzocht dat hun naam niet in de samenstelling van de werkgroep werd opgenomen. De HGR betreurt dat hij heeft moeten afwijken van zijn vaste procedures, die de onafhankelijkheid en de transparantie van zijn adviezen waarborgen.

Dit advies werd door een extern vertaalbureau vertaald

VII ANNEX I- ENKELE VERSCHILLEN OP HET GEBIED VAN DE VEILIGHEIDSVORZIENINGEN TUSSEN DE BELGISCHE EN FRANSE CENTRALES

A. VANDEWALLE

1.1 Betrokken centrales

Deze analyse richt zich op de zes reactoren (van niveau CP1⁴¹, gebouwd tussen 1975 en 1985) van de Franse centrale van Gravelines enerzijds, en de reactoren Doel 3 en 4 en Tihange 2 en 3 in België anderzijds. De laatste twee eenheden die in België werden gebouwd, zijn Doel 4 en Tihange 3. Het zijn deze eenheden die, volgens de Belgische overheid, zouden kunnen blijven werken na 2025, ook al is het beoogde scenario momenteel de volledige sluiting van alle kerncentrales in België tegen 2025.

In Frankrijk bereikt het eerste niveau van kerncentrales de grens van 40 jaar. Als ze niet worden stilgelegd, zoals Fessenheim, kan hun werking worden verlengd met inachtneming van een aantal door de ASN vastgestelde vereisten.⁴² Sommige hiervan worden vergeleken met de centrales van Doel 3 en 4 en Tihange 2 en 3 die, ter herinnering, in de jaren 70 werden ontworpen en in de jaren 80 werden opgestart.

1.2 Vermogen van de kerncentrales

Om een en ander in perspectief te plaatsen, is het interessant een kleine vergelijking te maken. Dit maakt het mogelijk om de in de kerncentrales ontwikkelde vermogens te tonen. Zo had de *Space Shuttle* een vermogen van 60 MW nodig om te worden gelanceerd, wat gigantisch is. Wat de kerncentrales betreft, is het geleverde vermogen in de orde van grootte van 1,000 elektrische megawatt. Rekening houdend met het rendement van de huidige centrales, vertegenwoordigt dit ongeveer 3 000 thermische megawatt op vol vermogen, dus 50 keer wat nodig was om de *Space Shuttle* te lanceren.

1.3 Locatie van de kerncentrales die van belang zijn voor België

Naast de twee nucleaire sites (kerncentrales) op het eigen grondgebied, wordt België omringd door andere nucleaire sites die in de buurt van zijn installaties en grote steden liggen en waarmee dus rekening moet worden gehouden bij een noodplan. Het gaat om:

- In Noord-Frankrijk: Gravelines (die tot de oudste generatie Franse centrales behoort), Chooz (twee eenheden van niveau N4) en een beetje verder naar het zuiden, Cattenom.

⁴¹ De Franse centrales onderscheiden zich met name door hun ontwikkelingsniveaus, of 'paliers', waarvan er zes zijn, van CP0 in Fessenheim tot N4 (Chooz B).

⁴² Décision n° 2021-DC-0706 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 février 2021 fixant à la société Électricité de France (EDF) les prescriptions applicables aux réacteurs des centrales nucléaires du Blayais (INB n° 86 et n° 110), du Bugey (INB n° 78 et n° 89), de Chinon (INB n° 107 et n° 132), de Cruas (INB n° 111 et n° 112), de Dampierre-en-Burly (INB n° 84 et n° 85), de Gravelines (INB n° 96, n° 97 et n° 122), de Saint-Laurent-des-Eaux (INB n° 100) et du Tricastin (INB n° 87 et n° 88) au vu des conclusions de la phase générique de leur quatrième réexamen périodique.

- In het zuiden van Nederland: Borsele, waarvoor ook een verlenging van de levensduur voorbij 40 jaar wordt vermeld en die van dezelfde leeftijd en van hetzelfde ontwerpniveau is als Doel 1 en 2.

1.4 Veiligheidsvoorzieningen

a) Bestaande centrales

Afhankelijk van het niveau waartoe de Franse kernreactoren behoren, zijn ze uitgerust met containments die zich onderscheiden door het aantal wanden en door de aanwezigheid of de afwezigheid van een stalen liner:

- Reactoren van 900 MWe – **Enkelwandig containment met liner**: de reactoren die tot de niveaus CP0, CP1 en CP02 behoren. De zes eenheden van Gravelines zijn dus uitgerust met slechts een enkel containment met één stalen liner.
- Reactoren van 1.300 MWe – **Dubbelwandig containment zonder liner**: voor de reactoren die tot de generaties P4, P4' en N4 behoren, werd er een verbetering aangebracht ten opzichte van de vorige generaties in die zin dat deze reactoren werden uitgerust met een dubbel containment. Aan de andere kant werd de liner (die zich in het primaire containment bevindt) verwijderd en vervangen door een afdichtingssysteem op basis van epoxy dat relatief ineffectief is gebleken en veel problemen heeft veroorzaakt.

Wat de Belgische centrales betreft, zijn de eenheden van Doel 3 en 4 en Tihange 2 en 3 uitgerust met een dubbelwandig containment met een roestvrijstalen liner. Bovendien is het secundaire containment veel dikker dan bij de Franse reactoren (1,20 m en 1,30 m beton voor het buitenste containment).

b) Centrales van de nieuwste generatie (EPR)

Het EPR-project in Flamanville is een laatste generatie centrale in aanbouw in Frankrijk. Dit project voorziet in een dubbelwandig containment met liner. Het secundaire containment in de EPR heeft een dikte van 1,80 m, in vergelijking met 1,20 m - 1,30 m bij Doel 3 en 4 en Tihange 2 en 3.

Een vergelijking tussen dit EPR-project enerzijds en het ontwerp van de Belgische centrales (Doel 3 en 4, Tihange 2 en 3) anderzijds toont echter belangrijke overeenkomsten op het gebied van het algemene ontwerp van de twee soorten centrales en wat de beveiliging en de nucleaire veiligheid betreft. In beide gevallen is het **opslaggebouw voor verbruikte splijtstof**, dat zich links van het containmentgebouw bevindt, op dezelfde wijze bestand tegen externe gebeurtenissen (vliegtuigcrash, grootschalige explosie of brand) als het containmentgebouw. Een ander gebouw, dat zich deze keer rechts van het containmentgebouw bevindt, zorgt voor de isolatie van het hoofdvoedingswater en de isolatie van de hoofdstoom. Dit gebouw is ook bestand tegen gebeurtenissen van externe oorsprong. In de Belgische centrales is dit gebouw bovendien uitgerust met speciale veiligheidsvoorzieningen die het mogelijk maken om de installatie veilig stil te leggen, zelfs in geval van meervoudig verlies van voorzieningen van het eerste veiligheidsniveau, die zelf niet noodzakelijk beschermd zijn tegen externe gebeurtenissen.

c) Veiligheidssystemen van het eerste en tweede niveau

De veiligheidssystemen van het eerste niveau zijn de systemen die werden geïmplementeerd om direct het hoofd te bieden aan een ongeval van interne oorsprong, zoals een LOCA (*loss-of-coolant accident*, een verlies van het primaire koelmiddel) of een *steamline break* (een breuk in een stoomleiding binnen of buiten het reactorgebouw). De systemen van het tweede niveau daarentegen:

- **zijn ontworpen om bestand te zijn tegen externe gebeurtenissen**, namelijk een externe explosie, een grootschalige brand, een vliegtuigcrash;
- kunnen ook ingrijpen in specifieke gevallen van interne ongevallen die betrekking hebben op de primaire kring, als **back-up ten opzichte van de systemen van niveau 1**;
- zijn niet alleen **volledig onafhankelijk van de klassieke veiligheidssystemen** (niveau 1), maar zijn ook van **andere makelij**. Het feit dat deze voorzieningen op een volledig onafhankelijke manier werden ontworpen en vervaardigd, maakt het mogelijk om zich te beveiligen tegen common mode defecten van deze voorzieningen ten opzichte van de voorzieningen van het eerste niveau;
- **zijn redundant**: er is telkens minstens drie keer 50% of twee keer 100% capaciteit ten opzichte van het ontwerp van deze systemen. Dit betekent dat we het ons kunnen veroorloven een van deze voorzieningen te verliezen zonder de veiligheidsfunctie van deze systemen in gevaar te brengen;
- **zijn gekwalificeerd**: ze zijn onderworpen aan een specifiek kwaliteitsborgingsprogramma om hun werking volgens de ontwerpvereisten te kunnen waarborgen. Deze voorzieningen worden gekwalificeerd om ervoor te zorgen dat ze, rekening houdend met de ontwerpvereisten, altijd correct kunnen werken;
- **maken het mogelijk om de eenheid tot veilige stilstand te brengen**, d.w.z. volledig tot koude stilstand, **zonder menselijke tussenkomst gedurende de eerste drie uur van de stillegging**. Deze systemen zijn zodanig ontworpen dat ze de belangrijkste veiligheidsfuncties op volautomatische wijze kunnen aansturen, namelijk het behoud van een onderkritische toestand, de afvoer van de restwarmte en de insluiting van de radioactiviteit op het niveau van het primaire containment, zelfs in geval van volledige vernietiging van de hoofdcontrolezaal, die niet is beschermd tegen externe ongevallen. Na drie uur moeten operatoren ingrijpen om de installatie tot veilige stilstand te blijven brengen en in veilige stilstand te blijven houden;
- beschikken ook over onafhankelijke noodstroomvoorzieningen van andere makelij dan die van de veiligheidssystemen. Zo zijn er per eenheid (Doel 3 en 4/Tihange 2 en 3) drie nooddiesels die het mogelijk maken om elektrische uitrustingen van de benodigde energie te voorzien om te werken. Dit aantal is gelijk aan het aantal elektrische generatoren die het mogelijk maken om de systemen van niveau 1 te voeden, maar die van andere makelij zijn. Dit maakt het opnieuw mogelijk om de common mode defecten te beperken en de betrouwbaarheid van het geheel te vergroten.

Voor de stroomvoorziening van de centrale van Tihange maakt het stuwmeer van Coö het mogelijk om de 150 kV-post van Tihange alsook het gehele interne veiligheidselektriciteitsnet opnieuw te voeden. Dit bestaat uit drie veiligheidstreinen met aparte en redundante elektrische voedingen. Eveneens vermeldenswaard zijn de voedingsbronnen van het eerste en tweede niveau, met hun elektrische generatoren om de elektrische systemen te voeden, evenals de controlebediening, de instrumentatie en de batterijen die het mogelijk maken om gedurende enkele uren zonder enige andere voeding te werken om alles met betrekking tot de controlebediening te voeden.

1.5 Vereisten van de ASN voor de verlenging van de levensduur van de centrales in vergelijking met de Belgische vereisten (besluit van 23 februari 2021)

De ASN heeft dit jaar een aantal eisen geformuleerd om de Franse eenheden, waaronder die van Gravelines, langer dan 40 jaar in bedrijf te kunnen houden. Het blijkt dat de huidige Belgische centrales voor bepaalde aspecten al lang aan deze vereisten voldoen.

- Oplossing van de vastgestelde afwijkingen ; geen opmerkingen
- Specifieke testen ; geen opmerkingen
- Betrouwbaarheid van de functie voor de recirculatie van het water dat aanwezig is op de bodem van het reactorgebouw bij een ongeval met verlies van primair koelmiddel: ongevalshypothese houden rekening met het ontstaan van een breuk in de primaire kring, waarvan het water zich op de bodem van het containment bevindt. Tijdens de eerste fase van het ongeval wordt water in de primaire kring geïnjecteerd, om met name de kern te koelen. Zodra de waterreserve is uitgeput, wordt de recirculatie gestart om de reactorkern te blijven koelen door warmtewisselaars in te schakelen. Dit systeem is onderwerp geweest van vele discussies in het kader van het bekende probleem van Barsebäck, een Zweedse centrale waarvan bleek dat het recirculatiesysteem buiten werking zou kunnen raken omdat het in het reactorgebouw aanwezige puin de filters van het koelsysteem zou kunnen verstopen.
 - ✓ **België:** dit werd bestudeerd en in aanmerking genomen voor alle Belgische centrales, die vanuit dit oogpunt over veilige systemen beschikken. De filteroppervlakken werden vergroot en de mogelijke productie van puin in het reactorgebouw werd beperkt om de verstopping van deze filters en het eventuele verlies van de koeling van de reactorkern te voorkomen.
- Verwachte vermogensmarge voor de noodstroomgeneratoren
 - ✓ **België:** er vindt een herziening van deze marges plaats bij de tienjaarlijkse herzieningen van de veiligheid van de kerncentrales. Er werden dan ook meermaals controles uitgevoerd om er zeker van te zijn dat de marges voldoende waren op het niveau van de stroomgeneratoren.
- Toezichtstelsysteem voor de insluiting van het containment
 - ✓ **België:** om de tien jaar worden er dichtheidstesten van het containment uitgevoerd in overeenstemming met de Amerikaanse regelgeving om de afwezigheid van lekken te controleren ten opzichte van het ontwerp (er wordt altijd rekening gehouden met een klein lek op het niveau van het ontwerp). De conformiteit wordt ook gecontroleerd bij elke heropstart na herbevoorrading, d.w.z. dat wordt gecontroleerd of de dichtheid van het containment voldoende is om de eenheid opnieuw te kunnen opstarten.
- **Risico's verbonden aan buitentemperaturen (10-2/jaar):** rekening houden met klimatologische aspecten en in het bijzonder de risico's verbonden aan buitentemperaturen met een frequentie van voorkomen van 10^{-2} per jaar
 - ✓ **België:** Er wordt niet alleen rekening gehouden met deze vereiste bij de tienjaarlijkse herzieningen, maar de evaluaties gaan zelfs tot een waarschijnlijkheid van voorkomen van 10^{-4} per jaar.
- Vermogen om het hoofd te bieden aan een situatie van totaal verlies van de elektrische voedingen op een site in een situatie met hoge temperaturen
 - ✓ **België:** Dit werd in aanmerking genomen bij de BEST-evaluaties die op verzoek van de Europese autoriteiten werden uitgevoerd en die bedoeld waren om aan te tonen dat er voldoende waarborgen werden geïmplementeerd in het licht van wat er is gebeurd in Fukushima. In deze context werd nagegaan welke verbeteringen

moesten worden aangebracht om het hoofd te bieden aan dergelijke gebeurtenissen. Er werden een groot aantal extra nooddieselgeneratoren toegevoegd naast de bestaande diesels van het eerste en tweede niveau. Elke eenheid beschikte namelijk over zes volledig redundante noodgeneratoren (naast de reservegeneratoren), waaraan extra noodgeneratoren werden toegevoegd die het mogelijk maken om dankzij hun mobiliteit het hoofd te bieden aan een breed scala aan volledig onverwachte gebeurtenissen.

- Vermogen om het hoofd te bieden aan een situatie met hoge temperaturen boven de ontwerpbasis (10^{-4} /jaar)
 - ✓ **België:** in aanmerking genomen bij de tienjaarlijkse herzieningen voor de Belgische centrales.
- Risico's verbonden aan brand
 - ✓ **België:** Deze risico's werden van meet af aan grotendeels in aanmerking genomen. Daarnaast werden er systematisch *fire PSA's* (probabilistische beoordelingen van de brandrisico's) en analyses van de mogelijke gevolgen van branden op het risico op kernsmelting uitgevoerd, wat het mogelijk heeft gemaakt om enkele punten te verbeteren door de iets andere kijk die de probabilistische beoordelingen van de mogelijke gevolgen van een brand hebben gegeven, vergeleken met zogenaamde deterministische studies.
- Risico's verbonden aan aardbevingen
 - ✓ **België:** Er werd rekening gehouden met een 'zware' aardbeving in het kader van de BEST-evaluatie. Voor Tihange was de oorspronkelijk in aanmerking genomen aardbeving in de orde van grootte van 0,1 g (maximale grondversnelling), wat het minimum was dat door de Amerikaanse regelgeving werd vereist. Ze werd vervolgens verhoogd tot 0,17 g alvorens opnieuw te worden herzien in het kader van de BEST-evaluaties naar 0,25 g.
- Risico's verbonden aan explosies van interne oorsprong
 - ✓ **België:** De risico's verbonden aan explosies van interne oorsprong werden in aanmerking genomen bij het ontwerp. Een interne explosie kan worden veroorzaakt door waterstof die wordt geproduceerd bij de oxidatie van splijtstofelementen⁴³. In het kader van de eerste tienjaarlijkse herziening werden er in de reactorgebouwen katalytische recombinatoren toegevoegd die het mogelijk maken om op passieve wijze waterstofaccumulatie te voorkomen. Daarnaast werden er relatief recent gefilterde drukontlastingssystemen toegevoegd. Dit zijn drukontlastingssystemen die het mogelijk maken om de overdruk die in reactorgebouwen zou kunnen ontstaan, te verlagen terwijl de in het reactorgebouw aanwezige isotopen redelijk worden gefilterd. Deze lozing, die zeker niet onbeduidend zou zijn, zou in overleg gebeuren en zou nodig kunnen zijn om een breuk van het primaire containment in zeer extreme omstandigheden te voorkomen.

1.6 Noodplannen

Een richtlijn van het FANC met als titel *Safety demonstration of new class 1 installations*,⁴⁴ die a priori niet verplicht was, wordt omgezet in een technisch reglement, waardoor ze bindend zal worden voor alle nieuwe installaties.⁴⁵ De beschrijving van de 'defence in depth'-aanpak voor de veiligheid van de kernreactoren en de bijbehorende ontwerpbasiscategorieën (DBC =

⁴³ Zirkoniumomhulsels kunnen oxideren bij een temperatuur van meer dan 1.400 C°.

⁴⁴ <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/guideline-safety-demonstration-new-classi-installations-rev1-final.pdf>

⁴⁵ <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/regelgeving/regelgeving-voorbereiding/ontwerp-van-technisch-reglement-nucleaire>

design basis categories), maakt het mogelijk om zich een beeld te vormen van de mogelijke gevolgen van gebeurtenissen en ongevallen.

De 'defence in depth' is gebaseerd op een reeks stapsgewijze maatregelen (= opeenvolgende verdedigingslinies) die tot doel hebben de gevolgen van incidenten en ongevallen in nucleaire installaties te beperken. Ze gebeurt op vijf niveaus (*levels of defence in depth*), waaraan kwalitatieve en kwantitatieve veiligheidsdoelstellingen verbonden zijn met betrekking tot de radiologische gevolgen buiten de site. De eerste vier niveaus zijn relatief operationele niveaus. Op niveau 1 staat het voorkomen van eventuele storingen bij een normale werking. Niveau 2 omvat eerder de detectie van incidenten en de terugkeer naar de normale gang van zaken. Niveau 3 betreft de beheersing van ongevallen en de implementatie van maatregelen om de verergering ervan te voorkomen. Niveau 4 betreft ernstige ongevallen als gevolg van de falen van de maatregelen van de vorige niveaus en de maatregelen om de gevolgen ervan te beperken. Niveau 5 betreft de uitvoering van het noodplan en de bescherming van de bevolking.

Wat de lozingsniveaus en de gevolgen van lozingen voor deze verschillende niveaus betreft, heeft het FANC deze verschillende 'defence in depth'-niveaus verbonden met verschillende ontwerpbasiscategorieën en met verschillende gekwantificeerde nucleaire veiligheidsdoelstellingen (*radiological safety objectives* of SO's). Op het niveau van de eerste categorie (C1), die van de normale werking (*normal operation*), zijn er uiteraard geen gevolgen voor de bevolking en dus ook geen SO's. Er zijn wel SO's in de hogere categorieën (C2, die van de verwachte operationele incidenten (*anticipated operational occurrences*), C3a, die van de hypothetische enkelvoudige triggergebeurtenissen (*postulated single initiating events*), C3b, de hypothetische meervoudige storingen (*postulated multiple failure events*) en C4a, de niet praktisch uitgesloten ernstige ongevallen (*severe accidents not practically eliminated*). Anderzijds zijn er geen SO's van toepassing op de categorie C4b, de praktisch uitgesloten ernstige ongevallen (*severe accidents practically eliminated*).

Deze veiligheidsdoelstellingen (SO's) vallen uiteen in drie categorieën:

- SO1: deze doelstellingen zijn verbonden met de categorie C2 (*anticipated operational occurrences*) en hebben betrekking op:
 - gebeurtenissen waarvan de effectieve dosis per gebeurtenis lager moet zijn dan 0,1 mSv per jaar; of
 - gebeurtenissen waarvan de frequentie lager is dan een jaarlijkse frequentie en waarvan de gevolgen lager moeten zijn dan 0,5 mSv/gebeurtenis.
- SO2: deze doelstellingen zijn verbonden met de categorieën C3a en C3b (*postulated single initiating events, postulated multiple failure events*) en hebben dus ook betrekking op niveaus waarvoor inname van stabiel jodium of schuilen of evacueren van de bevolking in elk geval niet nodig is. Dit alles hangt samen met de huidige niveaus van het noodplan die de vereisten bepalen met betrekking tot de inname van stabiel jodium, schuilen of evacueren.
- SO3: deze doelstellingen zijn verbonden met de categorie C4a (*severe accidents not practically eliminated*), de ernstige ongevallen, en streven ernaar de lozing van radioactiviteit in de omgeving te verminderen door de volgende kwalitatieve criteria toe te passen:
 - In de richtlijnen die zullen worden omgezet in een technisch reglement van het FANC, moeten ongevallen die een vroegtijdige of massale lozing van

radioactiviteit zouden veroorzaken, '**praktisch uitgesloten**' zijn. Een ongeval 'praktisch uitsluiten' is een proces dat erin bestaat zich ervan te vergewissen dat deze gebeurtenissen fysisch onmogelijk zijn (bv. water brandt niet) of dat hun waarschijnlijkheid van voorkomen extreem klein is met een grote betrouwbaarheid. Omdat ze 'praktisch uitgesloten' zijn, worden deze gebeurtenissen uitgesloten van het ontwerp. In deze context is het nuttig te herinneren aan recent nieuws over de EPR in Flamanville. Er worden gesprekken gevoerd met de veiligheidsinstanties over bepaalde inlaten van de primaire kring voor de EPR. Een breuk van deze inlaten werd als vrijwel uitgesloten beschouwd, maar er is gebleken dat de maatregelen waarop deze overweging was gebaseerd, niet correct zijn toegepast. De discussies die uit deze vaststelling voortvloeien, zullen de ingebruikname van Flamanville ongetwijfeld opnieuw vertragen.

De naleving van de voorschriften van het agentschap in dit veiligheidsontwerp en de naleving van de verschillende 'defence in depth'-niveaus zouden het mogelijk moeten maken om elke situatie te vermijden waarin de bevolking moet worden geëvacueerd uit een straal van een paar kilometer rond een site en vooral op lange termijn.

www.hgr-css.be



Deze publicatie mag niet worden verkocht.



federale overheidsdienst

**VOLKSGEZONDHEID,
VEILIGHEID VAN DE VOEDSELKETEN
EN LEEFMILIEU**