

CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS  
DE BELGIQUE

18 juillet 2022

**LE PROJET MYRRHA**

**Audition**

RAPPORT

FAIT AU NOM DE LA SOUS-COMMISSION  
DE LA SÉCURITÉ NUCLÉAIRE  
PAR  
MME **Marianne VERHAERT**

**SOMMAIRE**

Pages

I. Exposés introductifs des représentants du SCK CEN...	3
II. Échange de vues.....	14
III. Annexe.....	23

BELGISCHE KAMER VAN  
VOLKSVERTEGENWOORDIGERS

18 juli 2022

**HET MYRRHA-PROJECT**

**Hoorzitting**

VERSLAG

NAMENS DE SUBCOMMISSIE  
VOOR DE NUCLEAIRE VEILIGHEID  
UITGEBRACHT DOOR  
MEVROUW **Marianne VERHAERT**

**INHOUD**

Blz.

I. Inleidende uiteenzettingen door de vertegenwoordigers van het SCK CEN.....	3
II. Gedachtewisseling.....	14
III. Bijlage.....	23

07571

**Composition de la commission à la date de dépôt du rapport/  
Samenstelling van de commissie op de datum van indiening van het verslag**

Président/Voorzitter: Bert Wollants

**A. — Titulaires / Vaste leden:**

N-VA Bert Wollants  
Ecolo-Groen Kim Buyst  
PS Eric Thiébaud  
VB Kurt Ravyts  
MR Vincent Scourneau  
cd&v Leen Dierick  
PVDA-PTB Thierry Warmoes  
Open Vld Marianne Verhaert  
Vooruit Kris Verduyck

**B. — Suppléants / Plaatsvervangers:**

Yngvild Ingels  
Samuel Cogolati  
Hervé Rigot  
Reccino Van Lommel  
Marie-Christine Marghem  
Jan Briers  
Greet Daems  
Tim Vandenput  
Bert Moyaers

**C. — Membre sans voix délibérative / Niet-stemgerechtigd lid:**

Les Engagés Catherine Fonck

N-VA	: Nieuw-Vlaamse Alliantie
Ecolo-Groen	: Ecologistes Confédérés pour l'organisation de luttes originales – Groen
PS	: Parti Socialiste
VB	: Vlaams Belang
MR	: Mouvement Réformateur
cd&v	: Christen-Democratisch en Vlaams
PVDA-PTB	: Partij van de Arbeid van België – Parti du Travail de Belgique
Open Vld	: Open Vlaamse liberalen en democraten
Vooruit	: Vooruit
Les Engagés	: Les Engagés
DéFI	: Démocrate Fédéraliste Indépendant
INDEP-ONAFH	: Indépendant – Onafhankelijk

<i>Abréviations dans la numérotation des publications:</i>		<i>Afkorting bij de nummering van de publicaties:</i>	
DOC 55 0000/000	Document de la 55 <sup>e</sup> législature, suivi du numéro de base et numéro de suivi	DOC 55 0000/000	Parlementair document van de 55 <sup>e</sup> zittingsperiode + basisnummer en volgnummer
QRVA	Questions et Réponses écrites	QRVA	Schriftelijke Vragen en Antwoorden
CRIV	Version provisoire du Compte Rendu Intégral	CRIV	Voorlopige versie van het Integraal Verslag
CRABV	Compte Rendu Analytique	CRABV	Beknopt Verslag
CRIV	Compte Rendu Intégral, avec, à gauche, le compte rendu intégral et, à droite, le compte rendu analytique traduit des interventions (avec les annexes)	CRIV	Integraal Verslag, met links het definitieve integraal verslag en rechts het vertaalde beknopt verslag van de toespraken (met de bijlagen)
PLEN	Séance plénière	PLEN	Plenum
COM	Réunion de commission	COM	Commissievergadering
MOT	Motions déposées en conclusion d'interpellations (papier beige)	MOT	Moties tot besluit van interpellaties (beige/keurig papier)

MESDAMES, MESSIEURS,

Votre commission a organisé, au cours de sa réunion du 19 avril 2022, une audition sur le projet MYRRHA, avec des représentants du SCK CEN.

*M. Bert Wollants, président*, rappelle aux membres de la sous-commission que les orateurs du Centre d'étude de l'énergie nucléaire (en abrégé: SCK CEN) apporteront des explications d'ordre assez technique sur le contenu du projet MYRRHA (pour "Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications"). Plusieurs décisions quant aux choix stratégiques devant encore être prises à l'automne, il serait inutile, lors de la présente audition, de poser des questions sur des sujets qui devront être tranchés ultérieurement. L'objectif est de se forger une idée précise du contenu du projet afin que la sous-commission puisse y travailler de manière plus ciblée à l'avenir.

#### I. — EXPOSÉS INTRODUCTIFS DES REPRÉSENTANTS DU SCK CEN

*M. Peter Baeten, directeur général adjoint du SCK CEN*, déclare que son exposé ambitionne non seulement d'apporter une explication didactique du projet MYRRHA, mais également de décrire le contexte du projet dans les domaines du combustible irradié, des différents cycles du combustible, et de la manière dont tout cela devrait être géré à l'avenir.

Les centrales nucléaires commerciales utilisent un combustible composé à la fois d'uranium 235 (en abrégé: 235U) et d'uranium 238 (en abrégé: 238U). Un neutron peut scinder un noyau d'235U, ce qui libère de l'énergie. Ce noyau se sépare alors en deux produits de fission et en un certain nombre de nouveaux neutrons, qui sont ensuite utilisés pour entretenir la réaction en chaîne. L'objectif est que l'un de ces neutrons scinde à nouveau un noyau d'235U afin que la réaction se poursuive. Cette réaction en chaîne peut être contrôlée en jouant sur le nombre de neutrons absorbés. Les produits de fission obtenus ont des durées de vie courtes, longues ou très longues, mais ils sont moins radiotoxiques que les actinides mineurs (voir ci-dessous). L'uranium (en abrégé: U) qui est présent dans la nature contient 0,7 % d' 235U (et contient donc surtout de l' 238U). Le combustible nucléaire d'un réacteur nucléaire, comme ceux exploités en Belgique à Doel et à Tihange, contient environ 4 % d'235U. Une grande quantité d'238U sera toujours présente dans le combustible du réacteur. Certains des neutrons libres dans un réacteur seront capturés par des noyaux d'238U, qui seront alors transformés en

DAMES EN HEREN,

Uw commissie heeft tijdens haar vergadering van 19 april 2022 een hoorzitting gehouden over het MYRRHA-project met vertegenwoordigers van het SCK CEN.

*De heer Bert Wollants, voorzitter*, herinnert de leden van de subcommissie eraan dat de sprekers van het Studiecentrum voor kernenergie (afgekort: SCK CEN) eerder technische uitleg zullen geven over de inhoud van het MYRRHA-project (MYRRHA staat voor "Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications"). Maar op het gebied van strategische keuzes moeten er in het najaar nog een aantal knopen worden doorgemaakt. Het heeft geen zin tijdens deze hoorzitting vragen te stellen over zaken die later moeten worden beslist. Het is wel de bedoeling om een duidelijk zicht te krijgen op de projectinhoud, zodat de subcommissie er in de toekomst gerichter mee aan de slag kan.

#### I. — INLEIDENDE UITEENZETTINGEN DOOR DE VERTEGENWOORDIGERS VAN HET SCK CEN

*De heer Peter Baeten, adjunct-directeur-generaal van het SCK CEN*, zegt dat de bedoeling van de uiteenzetting, naast het geven van didactische toelichting over het MYRRHA-project, ook het schetsen is van de context van het MYRRHA-project op het gebied van de bestraalde brandstof, de verschillende brandstofcycli en hoe dit in de toekomst zou moeten worden aangepakt.

De commerciële nucleaire centrales gebruiken een brandstof die zowel uranium-235 (afgekort: 235U) als uranium-238 (afgekort: 238U) bevat. Een neutron kan een 235U-kern splijten, waarbij energie vrijkomt. De kern valt daarbij uiteen in twee splijtingsproducten en een aantal nieuwe neutronen, die verder worden gebruikt om de kettingreactie te onderhouden. De bedoeling is dat één van deze neutronen opnieuw een 235U-kern zal splijten zodat de reactie voortduurt. Deze kettingreactie kan worden geregeld door te spelen op het aantal neutronen dat wordt geabsorbeerd. De bekomen splijtingsproducten hebben een korte, lange of zeer lange levensduur, maar zijn minder radiotoxisch dan de mineure actiniden (zie hieronder). Uranium (afgekort: U) dat in de natuur voorkomt bevat 0.7 % 235U (en bevat dus hoofdzakelijk 238U). De nucleaire brandstof in een kernreactor, zoals deze in België in Doel en Tihange, bevat ongeveer 4 % 235U. Er zal steeds een grote hoeveelheid 238U in de reactorbrandstof aanwezig zijn. Een aantal van de neutronen die in een reactor rondvliegen zullen door 238U-kernen worden gevangen, waardoor deze zullen worden omgevormd tot plutonium (afgekort:

plutonium (en abrégé: Pu), en neptunium (en abrégé: Np), en américium (en abrégé: Am) ou en curium (en abrégé: Cm). Le Pu est un élément particulier; les Np, Am et Cm relèvent des actinides mineurs (en anglais: “*minor actinides*”).

De manière générale, le combustible irradié est constitué de:

- 94,7 % d’U et Pu – cette fraction peut être recyclée;
- 5,1 % de produits de fission, avec une radiotoxicité relativement faible;
- 0,2 % d’actinides mineurs produits à radiotoxicité élevée.

Cela n’est pas spécifique aux centrales belges: la problématique se pose partout où de l’électricité issue du nucléaire est produite avec des réacteurs refroidis avec de l’eau sous pression (PWR). Des dispositions ont été prises pour y remédier. Le rapport “Programme indicatif nucléaire européen” (en abrégé: PINC) de 2016, qui reprend les chiffres officiels rassemblés par l’Union européenne, donne une idée des provisions accumulées pour la gestion de la fin du cycle pour les 28 États membres, pour la période 2016-2050. Elles se composent de trois parties:

- le démantèlement lui-même (estimé à 123 milliards d’euros);
- la gestion de certains flux de déchets (estimée à 57 milliards d’euros);
- la “*spent fuel final disposal facility*” (estimée à 73 milliards d’euros).

Grâce à ces 73 milliards d’euros, plusieurs options sont possibles. Un choix très écologique serait d’appliquer la séparation et transmutation (en anglais: “*partitioning and transmutation*”), ce qui équivaut simplement à une séparation et un recyclage du combustible non-utilisé: les différents composants des déchets nucléaires sont séparés et reçoivent ensuite un traitement spécifique, afin qu’une partie puisse être recyclée et qu’une fraction résiduelle puisse être enfouie sous la forme la plus optimale. Un enfouissement en stockage sera toujours nécessaire, mais il peut être nettement réduit en recourant à la séparation et transmutation. Ce point sera présenté en détail ci-après.

Il existe trois grands types de cycles du combustible. Le premier type est le “*once through*” (non-retraitement) où rien n’est recyclé. Le combustible usé est retiré du réacteur et, après un refroidissement suffisant, les assemblages

Pu), neptunium (afgekort Np), américium (afgekort: Am) of curium (afgekort: Cm). Pu is een speciaal element, Np, Am en Cm behoren tot de mineure actiniden (Engels: “*minor actinides*”).

Globaal gezien bestaat de bestraalde brandstof uit:

- 94,7 % U en Pu, deze fractie kan worden gerecycleerd;
- 5,1 % splijtingsproducten, met relatief lage radiotoxiciteit;
- 0.2 % mineure actiniden met hoge radiotoxiciteit.

Dit geldt niet enkel voor de Belgische centrales, overall waar nucleaire elektriciteitsproductie met reactoren, is gekoeld door water onder druk (PWR), heeft men deze problematiek. Er werden provisies aangelegd om hieraan een oplossing te bieden. Het Europese “*programme indicatif nucléaire*” (afgekort: PINC) rapport uit 2016, dat officiële cijfers bevat die door de Europese Unie werden verzameld, geeft een idee van de aangelegde provisies voor het beheer van het einde van de cyclus voor de 28 lidstaten voor de periode 2016-2050. Dit bestaat uit drie delen:

- het ontmantelen zelf (geschat op 123 miljard euro);
- het beheer van bepaalde afvalstromen (geschat op 57 miljard euro);
- de “*spent fuel final disposal facility*”, de berging van de bestraalde brandstof (geschat op 73 miljard euro).

Met die 73 miljard euro provisies kunnen verschillende dingen worden gedaan. Een heel groene keuze zou het toepassen van partitionering en transmutatie (Engels: “*partitioning and transmutation*”) zijn, wat niets anders is dan scheiden en recyclen van de niet-gebruikte splijtstof. De verschillende componenten in het nucleaire afval worden gescheiden en krijgen daarna een specifieke behandeling, zodat een deel kan worden gerecycleerd en een restfractie in de meest optimale vorm kan worden geborgen. Een berging blijft altijd nodig, maar deze kan door toepassing van partitionering en transmutatie veel kleiner worden gemaakt. Dit wordt verder meer in detail uitgelegd.

Er zijn drie grote typen van brandstofcycli. Het eerste type is de “*once through*” waarbij niets wordt gerecycleerd. De gebruikte brandstof wordt uit de reactor genomen en na voldoende afkoeling worden de brandstofassemblages,

de combustibles sont placés, sans aucun traitement, en stockage géologique dans de super conteneurs. Cela entraîne une radiotoxicité, c'est-à-dire un risque radioactif en cas d'ingestion ou d'inhalation par l'être humain, qui perdurera 300 000 ans. Cette stratégie est utilisée aux États-Unis pour les combustibles de navires et sous-marins militaires, en Suède et en Finlande. Le deuxième type est le "recycling" (retraitement), où l'uranium et le plutonium sont extraits du combustible irradié et recyclés. Le reste – les actinides mineurs et les produits de fission – est considéré comme déchet radioactif et vitrifié (en anglais: "vitrified"), cf. les conteneurs vitrifiés qui sont revenus par le passé. Cette stratégie est utilisée en France et au Japon. Le troisième type est l'"advanced reprocessing" (séparation avancée) avec séparation et transmutation, où tous les différents éléments présents dans les déchets sont séparés et traités isolément. L'uranium et le plutonium sont recyclés; par contre, il est impossible de faire grand-chose des produits de fission, qui seront dès lors vitrifiés. Les actinides mineurs, qui sont à l'origine de la radiotoxicité à long terme, seront transmutés, ce qui revient à une combustion nucléaire, une simple fission. Un neutron bombardé sur un noyau d'américium peut scinder celui-ci en deux produits de fission à moindre toxicité. Cette stratégie n'a pas encore été mise en œuvre à l'échelle industrielle; des recherches sont encore nécessaires. L'avancée de cette stratégie sera détaillée plus loin.

Le cycle "once through" entraîne une radiotoxicité qui reste très élevée pendant 300 000 ans. L'application de la stratégie "recycling" ramène cette durée à 10 000 ans, et l'"advanced reprocessing" la réduit, pour sa part, à 300 ans.

À l'heure actuelle, l'"advanced reprocessing" n'est pas disponible à l'échelle industrielle. Plusieurs étapes sont nécessaires:

- "Advanced partitioning": les différents éléments doivent être extraits séparément. Par rapport au procédé connu de "plutonium uranium reduction extraction" (en abrégé: procédé PUREX), des étapes de séparation supplémentaires sont requises pour extraire les actinides mineurs. Le "technology readiness level" (en abrégé: niveau TRL) de cette étape d'"advanced partitioning" est de 7 à 8. Pour les technologies éprouvées, le niveau TRL est de 10, tandis que pour une idée qui nécessite encore un important développement, le niveau TRL est d'1. L'"advanced partitioning", dont le niveau TRL est de 7 à 8, ne peut pas encore faire l'objet d'une application industrielle, mais il n'en est plus loin.

- "Fabrication of dedicated transmuted fuel": afin de séparer les composants partitionnés, l'américium, le

zonder enige behandeling, in supercontainers in de geologische berging geplaatst. Dit resulteert in een radiotoxiciteit, het radioactieve gevaar bij inname of inhalatie door de mens, die 300 000 jaar zal blijven bestaan. Deze strategie wordt gebruikt in de Verenigde Staten voor wat betreft de brandstof komende van militaire schepen en onderzeeboten, Zweden en Finland. Een tweede mogelijkheid is "recycling" (heropwerking), waarbij uranium en plutonium uit de bestraalde brandstof worden gehaald en worden gerecycleerd. De rest, de mineure actiniden en de splijtingsproducten, wordt als radioactief afval beschouwd en verglaasd (Engels: "vitrified"). Dit zijn de verglaasde containers die in het verleden zijn teruggekomen. Deze strategie wordt door Frankrijk en Japan gebruikt. Een derde mogelijkheid is "advanced reprocessing" met scheiding en transmutatie, waarbij al de verschillende elementen die in het afval aanwezig zijn worden gescheiden en apart worden behandeld. Uranium en plutonium worden hergebruikt. Met de splijtingsproducten kan weinig worden gedaan. Deze zullen worden verglaasd. Maar de mineure actiniden, die zorgen voor de langlevende radiotoxiciteit zullen worden getransmuteerd, wat eigenlijk nucleair verbranden is, eigenlijk gewoon splitsen. Met een neutron dat op een americiumkern wordt geschoten kan deze kern worden gesplitst in twee minder radiotoxische splijtingsproducten. Deze strategie is nog niet industrieel geïmplementeerd. Er is nog onderzoek nodig. De stand van deze strategie komt verder aan bod.

De "once through"-cyclus resulteert in een radiotoxiciteit die 300 000 jaar heel hoog blijft. Toepassen van de "recycling"-strategie verkort dit tot 10 000 jaar, en met de "advanced reprocessing" verkort dit verder tot 300 jaar.

"Advanced reprocessing" is vandaag nog niet industrieel beschikbaar. Er zijn verschillende stappen nodig:

- "Advanced partitioning": de verschillende elementen moeten er apart worden uitgehaald. Er zijn extra scheidingsstappen nodig ten opzichte van het gekende "plutonium uranium reduction extraction" proces (afgekort: PUREX-proces) om de mineure actiniden eruit te halen. Dit heeft een "technology readiness level" (afgekort: TRL-niveau) van zeven tot acht. Voor "proven technology" is het TRL-niveau tien. Voor een idee waarvoor nog heel veel ontwikkeling nodig is, is het TRL-niveau één. "Advanced partitioning", met een TRL-niveau van zeven tot acht, is nog niet industrieel beschikbaar, maar het is er niet meer zo ver vanaf.

- "Fabrication of dedicated transmuted fuel": om de gepartitioneerde componenten te splitsen, moeten

curium, etc. doivent être replacés dans un environnement de neutrons libres afin que leurs noyaux puissent être fissionnés. Ils doivent être placés dans un combustible nucléaire pour pouvoir être mis en place dans un réacteur, qui est le seul endroit où des neutrons libres peuvent être présents en grand nombre. Cette étape a un niveau TRL de 3 à 4, ce qui signifie qu'elle a été réalisée à l'échelle du laboratoire, mais pas encore à l'échelle semi-industrielle.

- *“Pre-Industrial sized transmuter demonstration”*: ce combustible avec les composants partitionnés doit être replacé dans un réacteur. Ce dernier peut être soit un réacteur critique, où la réaction en chaîne est entretenue, soit un réacteur sous-critique, où la réaction en chaîne n'est pas entretenue. Les réacteurs critiques, appelés *“Fast Reactors”* (en abrégé: réacteurs FR) ont un niveau TRL de 9. Les réacteurs sous-critiques ont un niveau TRL de 4 à 5. MYRRHA est un réacteur sous-critique de démonstration.

- *“Advanced reprocessing of transmuter fuel”*: lorsque l'américium et le curium ont été irradiés et fissionnés, le combustible doit être retraité. Plusieurs défis spécifiques sont présents et les techniques classiques de séparation sont difficilement applicables. C'est la raison pour laquelle cette étape a le niveau TRL le plus bas: 3.

La fission de l'américium et du curium requiert des neutrons rapides, que l'on peut trouver dans un réacteur nucléaire critique ou sous-critique. Les réacteurs critiques ont pour objectif premier la production d'électricité. Dans ces réacteurs, l'américium et le curium peuvent être ajoutés de manière homogène (en les répartissant dans tout le réacteur) ou de manière hétérogène (en les plaçant à des endroits spécifiques du réacteur). Ces réacteurs critiques permettent de transmuter deux à quatre kilogrammes par térawattheure (en abrégé: 2 à 4 kg/TWh). Les réacteurs sous-critiques ont pour objectif premier la transmutation et non la production d'électricité. Ces réacteurs sous-critiques, également appelés *“accelerator-driven systems”* (systèmes pilotés par accélérateur, en abrégé: ADS), peuvent transmuter 35 kg/TWh, ce qui est dix fois plus élevé que les réacteurs critiques. MYRRHA est un ADS de démonstration.

Le recours à des réacteurs critiques pour la transmutation requiert un volume élevé de transport, avec une multiplicité de réacteurs en mesure de transmuter de faibles quantités. Par contre, un ADS permet de créer le combustible, de le transmuter et de le retraiter sur un seul et même site; aucun transport n'est donc nécessaire.

americium, curium... terug in een milieu met rondvliegende neutronen worden gepositioneerd, zodat de kernen kunnen worden gesplitst. Ze moeten in een nucleaire brandstof worden geplaatst, zodat ze in een reactor kunnen worden opgesteld, want enkel in een reactor zijn er heel veel rondvliegende neutronen. Deze stap heeft een TRL-niveau van drie tot vier, wat wil zeggen dat het wel op laboschaal, maar nog niet op semi-industriële schaal, werd uitgevoerd.

- *“Pre-Industrial sized transmuter demonstration”*: deze brandstof met de gepartitioneerde componenten moet terug in een reactor worden geplaatst. Dit kan zowel in een kritische reactor, waarin de kettingreactie onderhouden blijft, als in een sub-kritische reactor, waar de kettingreactie niet onderhouden blijft. De kritische reactoren, de zogenaamde *“Fast Reactors”* (afgekort: FR-reactors) hebben een TRL-niveau van negen. De sub-kritische reactoren hebben een TRL-niveau van vier tot vijf. MYRRHA is een dergelijke sub-kritische demonstratiereactor.

- *“Advanced reprocessing of transmuter fuel”*: als americium en curium zijn bestraald en gespleten, moet de brandstof opnieuw worden verwerkt. Deze stap staat op het laagste TRL-niveau. Hier zijn een aantal specifieke uitdagingen. De klassieke scheidingstechnieken zijn hier moeilijk toepasbaar. Hierdoor heeft deze stap het laagste TRL-niveau, namelijk drie.

Voor het splijten van americium en curium zijn snelle neutronen nodig, die men kan vinden in een kritische of in een sub-kritische nucleaire reactor. Kritische reactoren hebben als eerste doelstelling elektriciteitsproductie. In deze reactoren kunnen americium en curium worden bijgeplaatst op een homogene manier, waarbij ze over de gehele reactor worden verspreid, of op een heterogene manier, waarbij ze op specifieke plaatsen in de reactor worden aangebracht. Bij het gebruik van deze kritische reactoren zal twee tot vier kilogram per terawattuur kunnen worden getransmuteerd (afgekort: 2 tot 4 kg/TWh). Sub-kritische reactoren hebben het transmuteren, en niet het produceren van elektriciteit, als primaire doelstelling. In deze *“accelerator-driven systems”* (afgekort: ADS), deze sub-kritische reactoren, kan 35 kg/TWh worden getransmuteerd, wat een factor tien hoger is dan in de kritische reactoren. MYRRHA is een demonstratie-ADS.

Het gebruiken van kritische reactoren voor het transmuteren zal ook een groot aantal transporten vereisen. Vele reactoren zullen een klein beetje kunnen transmuteren. Bij het gebruik van ADS kan het maken van de brandstof, het transmuteren en het opnieuw verwerken van de brandstof op één site worden geconcentreerd, en zijn er geen transporten nodig.

Cette problématique ne se borne pas à la Belgique; elle devrait être abordée au niveau européen ou international. Tant les pays qui sortent du nucléaire (comme l'Allemagne et la Belgique) que les pays qui poursuivent l'exploitation de l'énergie nucléaire (comme la France) ont intérêt à agir en synergie, à étudier la situation ensemble: ils ont tous du combustible usé, pour lequel une solution doit être trouvée. En examinant globalement la situation, les pays qui sortent du nucléaire peuvent fournir une partie de l'uranium et du plutonium recyclés aux pays qui continuent à utiliser l'énergie nucléaire. Ces derniers peuvent également faire traiter leur combustible usé dans l'ADS commun. Tous les pays ont avantage à s'atteler à ce problème à l'échelle européenne.

Des études réalisées dans le cadre de projets européens ont calculé que sept réacteurs ADS suffiraient à réduire d'ici 2100 les déchets produits par les pays sortant du nucléaire. Quinze réacteurs ADS réduisant les déchets de tous les pays européens permettraient de stabiliser la quantité de déchets (voir la diapositive 13 de l'annexe). Un ADS-EFIT (EFIT est l'abréviation de "European Facility for Industrial Transmutation") a une puissance thermique de 400 mégawatts (en abrégé: MW). Ensemble, les quinze EFIT offriraient dès lors une puissance thermique de 6 000 MW. À titre de comparaison: la puissance thermique sur le site de Doel ou de Tihange s'élève à 9 000 MW. Un unique site avec plusieurs EFIT serait donc suffisant pour régler au niveau européen l'ensemble de la question, qui est en soi assez limitée. Il n'aurait aucun sens que chaque pays s'y attelle individuellement.

Ce scénario "Partitioning & Transmutation" (en abrégé: scénario P&T) est l'un de ceux que le Service public fédéral Économie (en abrégé: SPF Économie) a officiellement repris dans son étude comparative. Il figure donc dans le Programme national de gestion du combustible usé et des "high level waste" (déchets de haute activité, en abrégé: HLW).

Nous avons encore largement le temps de mettre en œuvre le scénario P&T: le combustible utilisé dans les centrales belges ne sera pas mis en stockage géologique avant 2065. Dans ce long intervalle, des solutions plus optimales pourront être recherchées, mais le stockage géologique restera toujours nécessaire.

D'ici 2035, la quantité de combustible utilisée en Belgique sera de:

- 4 643 tonnes d'oxyde d'uranium (en abrégé: UOX);
- 66 tonnes de "mixed oxyde" (en abrégé: MOX; le MOX contient du plutonium et de l'uranium).

Dit is geen Belgisch probleem en het zou moeten worden aangepakt op Europees of internationaal vlak. Zowel voor landen die uit kernenergie stappen zoals Duitsland en België, als voor landen die verder gaan met kernenergie zoals Frankrijk, zijn er voordelen om dit synergetisch te doen, om dit allemaal samen te bekijken. Al deze landen zitten met gebruikte brandstof waarvoor een oplossing nodig is. Holistisch bekeken kunnen de landen die uit kernenergiestappen een deel van de gerecycleerde uranium en plutonium leveren aan de landen die verder gaan met kernenergie. Of de landen die in kernenergie blijven kunnen hun gebruikte brandstof laten verwerken in de gezamenlijke ADS. Er zijn voordelen voor alle landen om dit Europees aan te pakken.

Studies uitgevoerd in het kader van Europese projecten hebben berekend dat zeven ADS-reactoren zouden volstaan om het afval van de landen die uit kernenergie gaan stappen tegen 2100 te reduceren. De reductie van het afval van alle Europese landen met 15 ADS-reactoren zal ervoor zorgen dat de hoeveelheid afval stabiliseert. (Zie dia 13 van de bijlage). Een ADS-EFIT (EFIT is de afkorting van "European Facility for Industrial Transmutation") heeft een thermisch vermogen van 400 megawatt (afgekort: MW). 15 EFIT's hebben samen dus een thermisch vermogen van 6 000 MW. Ter vergelijking: op de site in Doel en Tihange is 9 000 MW thermisch geïnstalleerd. Eén site met een aantal EFIT's volstaat dus om de hele problematiek op Europees niveau aan te pakken. Het is op zich redelijk beperkt en het heeft zeker geen zin dat elk land dit apart gaat aanpakken.

Dit "Partitioning & Transmutation" scenario (afgekort: P&T scenario) is één van de scenario's dat door de Federale Overheidsdienst Economie (afgekort: FOD Economie) officieel opgenomen is in de vergelijkende studie. Het zit dus in het nationale plan voor de beheersstrategieën van de gebruikte brandstof en van het "high level waste" (afgekort: HLW).

Er is nog meer dan voldoende tijd om P&T te implementeren. De brandstof gebruikt in de Belgische centrales zal niet voor 2065 in een geologische berging gaan. Er is voldoende tijd om naar optimalere oplossingen te gaan. Maar er zal altijd geologische berging nodig zijn.

Tegen 2035 zal de hoeveelheid gebruikte brandstof in België bedragen:

- 4 643 ton uraniumoxide (afgekort: UOX);
- 66 ton "mixed oxide" (afgekort: MOX; MOX bevat plutonium en uranium).

Si les éléments américium et curium sont retirés du combustible usé, la radiotoxicité ainsi que le dégagement thermique de ce combustible usé seront considérablement réduits, ce qui permettrait de rendre nettement plus compact le stockage géologique. Si plusieurs produits de fission, qui vont de toute manière se désintégrer, sont mis de côté et si les actinides mineurs sont transmutés, la longueur du stockage géologique peut être réduite de 80 % et sa surface de 92 %. Il s'agit toutefois là de chiffres provisoires qui doivent être confirmés par des recherches futures.

Cette problématique concerne le monde entier et il est important que les différentes organisations internationales s'y appesantissent. Une importante d'entre elles est l'«*Organisation for Economic Co-operation and Development*» (en abrégé: OECD; en français: l'Organisation de coopération et de développement économiques, en abrégé: OCDE), et en particulier le Comité des sciences nucléaires de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE (en abrégé: OCDE/AEN; en anglais: OECD/NEA). Dans le cadre de l'initiative «*Innovation nucléaire 2050*» lancée en 2015, un point spécifique a été créé au sujet de la fermeture du cycle du combustible et du scénario P&T. En 2021, un groupe de travail a été fondé avec pour mandat de remettre aux gouvernements un rapport sur les recherches dans lesquelles des programmes de démonstration à grande échelle sont requis pour relever les niveaux TRL des différentes parties du P&T. Ce rapport a pris du retard en raison de la maladie à coronavirus (en abrégé: COVID), mais il est désormais attendu pour le milieu ou la fin de l'année 2022. Ce groupe de travail réunit des experts de différents pays, dont la Belgique, la France, le Japon, l'Union européenne, le Royaume-Uni, les États-Unis et, à l'époque, la Russie également.

*M. Hamid Aït Abderrahim, directeur du projet MYRRHA*, définit MYRRHA comme un système à réacteur qui fonctionne grâce à son couplage avec un accélérateur. Il était nécessaire de disposer d'un modèle de démonstration pour prouver que la technologie fonctionne bel et bien. L'objectif premier de MYRRHA est donc de démontrer que la transmutation fonctionne à l'échelle préindustrielle. Il s'agit toutefois d'une infrastructure de recherche dont les capacités dépassent la seule transmutation. L'accélérateur linéaire va jusqu'à 600 millions d'électronvolts (ou mégaélectronvolts, en abrégé: MeV) et est relié à un réacteur sous-critique. Ce réacteur n'est pas refroidi à l'eau mais avec un métal liquide spécifique, mélange de plomb et de bismuth. Le principe de l'ADS est de bombarder des protons sur le centre du cœur, ce qui fait démarrer le réacteur. Si l'accélérateur est arrêté, le réacteur s'arrête immédiatement lui aussi, rendant l'installation intrinsèquement sûre. En moins

Als de elementen americium en curium uit de gebruikte brandstof worden gehaald, gaat niet alleen de radiotoxiciteit maar ook de warmteafgifte van de gebruikte brandstof sterk verminderen. Dit zou toelaten de geologische berging veel compacter te maken. Als een aantal splijtingsproducten die toch gaan vervallen apart worden gezet, en als de mineure actiniden worden getransmuteerd, dan kan de lengte van de geologische berging 80 % korter worden uitgevoerd, en de oppervlakte zelfs 92 % kleiner. Dit zijn wel voorlopige cijfers die nog in het toekomstige onderzoek moeten worden geconfirmeerd.

Dit is een internationaal verhaal en het is belangrijk dat dit door de verschillende internationale organisaties wordt opgepikt. Eén van de belangrijke organisaties is de «*Organisation for Economic Co-operation and Development*» (afgekort: OECD; in het Nederlands de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling, afgekort: OESO), meer bepaald het «*Nuclear Science Committee*» van het OECD Nuclear Energy Agency (afgekort: OECD/NEA). In het kader van het «*Nuclear Innovation 2050*» initiatief dat in 2015 werd gelanceerd, werd een specifiek item gecreëerd rond het sluiten van de brandstofcyclus en rond P&T. In 2021 werd een werkgroep opgericht die een mandaat heeft om aan de overheden een rapport te leveren over onderzoek naar welke grootschalige demonstratieprogramma's nodig zijn om de TRL-niveaus van de verschillende P&T-delen te verhogen. Dit rapport heeft wat vertraging door «*Coronavirus Disease*» (afgekort: COVID), maar wordt nu verwacht tegen midden of eind 2022. Deze werkgroep verzamelt experts uit verschillende landen, waaronder België, Frankrijk, Japan, de Europese Unie, het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten en toen ook Rusland.

*De heer Hamid Aït Abderrahim, directeur MYRRHA-project*, definieert MYRRHA als een systeem met een reactor die functioneert dankzij de koppeling met een versneller. Er was nood aan een demonstratiemodel om aan te tonen dat de technologie werkt. Het eerste objectief van MYRRHA is dan ook het aantonen dat transmutatie op pre-industriële schaal werkt. Maar de installatie is een onderzoeksinfrastructuur die meer kan dan transmutatie. De lineaire versneller gaat tot 600 miljoen elektronvolt (of Mega-elektronvolt, afgekort: MeV) en is gekoppeld aan een sub-kritische reactor. Deze reactor wordt niet gekoeld met water maar met een specifiek vloeibaar metaal, een mengsel van lood en bismut. Het principe van ADS bestaat uit het afschieten van protonen op het midden van de kern, waardoor de reactor opstart. Als de versneller wordt gestopt, zal ook de reactor direct stoppen, wat een intrinsiek veilige installatie oplevert. Op minder dan één microseconde (afkorting: 1 µs) wordt

d'une microseconde (en abrégé: 1  $\mu$ s), la réaction en chaîne s'arrête. On sait que dans un réacteur arrêté, de la chaleur continue à se libérer (environ 6 % de la puissance). Il est dès lors nécessaire de refroidir en continu le réacteur, ce qui requiert des pompes, de l'électricité, etc. MYRRHA supprime cet écueil en recourant à la circulation naturelle, ce qui rend le réacteur intrinsèquement sûr. Lorsque le réacteur fonctionne, le liquide de refroidissement commence à circuler automatiquement et la chaleur est toujours évacuée. Le SCK CEN dispose d'un modèle réduit du réacteur MYRRHA, à l'échelle 1/5, qui a démontré que le principe de la circulation naturelle dans ce réacteur fonctionnait bien. Une telle preuve est nécessaire pour obtenir l'aval de l'autorité de sûreté, l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (en abrégé: AFCN).

MYRRHA est un réacteur de recherche qui offre toute une série d'applications:

- la production de radio-isotopes médicaux;
- la recherche sur les matériaux pour les réacteurs actuels et futurs;
- la recherche sur les matériaux destinés à être utilisés dans les futurs réacteurs à fusion;
- la recherche fondamentale;
- la technologie pour les futurs petits réacteurs nucléaires modulaires (en anglais "*small modular reactors*", en abrégé: SMR).

La tâche la plus importante de MYRRHA est toutefois d'assurer une transmutation efficace dans le traitement du combustible nucléaire irradié et des déchets radioactifs (en anglais: "*Spent Nuclear Fuel*" et "*High-Level Radioactive Waste*", en abrégé: SNF & HLW).

Dans les futurs réacteurs à fusion, des températures de plusieurs millions de degrés seront possibles, associées à de fortes radiations. Pour simuler ces conditions, une machine est nécessaire. Aujourd'hui, ces tests sont effectués au SCK CEN avec le "*Belgian Reactor 2*" (en abrégé: BR2), mais les conditions dans ce réacteur ne sont pas suffisamment représentatives des futurs réacteurs à fusion. Le réacteur MYRRHA permettra une bien meilleure simulation.

En 2015 déjà, la décision a été prise de mettre en œuvre MYRRHA en trois phases: d'abord la première partie de l'accélérateur, puis la deuxième partie de l'accélérateur et, dans une troisième phase, le réacteur. Cette solution présente l'avantage de permettre l'exploitation d'une première partie de MYRRHA dès

de kettingreactie gestopt. Het is bekend dat in een stopgezette reactor er nog steeds warmte blijft vrijkomen, ongeveer 6 % van het vermogen. Dat vereist dat men de reactor blijft koelen, waarvoor pompen, elektriciteit... nodig zijn. Bij MYRRHA is dit vermeden door gebruik te maken van natuurlijke circulatie, waardoor de reactor inherent veilig is. Van als de reactor in werking is, begint de koelvloeistof automatisch te circuleren en wordt de warmte altijd afgevoerd. Het SCK CEN heeft een schaalmodel van de MYRRHA-reactor, op schaal 1/5, waarmee werd aangetoond dat het principe van natuurlijke circulatie in deze reactor werkt. Voor het bekomen van een toelating van de veiligheidsautoriteit, het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (afgekort: FANC), zijn dergelijke bewijzen noodzakelijk.

MYRRHA is een onderzoeksreactor met een hele waaier aan toepassingen:

- productie van medische radio-isotopen;
- onderzoek van materialen voor de huidige en voor de toekomstige reactoren;
- onderzoek van materialen voor toepassingen in toekomstige fusiereactoren;
- fundamenteel onderzoek;
- technologie voor toekomstige kleine modulaire nucleaire reactoren (Engels: *small modular reactors*, afgekort: SMR's).

Maar de belangrijkste taak van MYRRHA is de efficiënte transmutatie in de behandeling van bestraalde nucleaire brandstof en radioactief afval (Engels: "*Spent Nuclear Fuel*" en "*High-Level Radioactive Waste*", afgekort: SNF & HLW).

In de toekomstige fusiereactoren zullen temperaturen van miljoenen graden heersen, in combinatie met een sterke straling. Er is een machine nodig om deze condities te simuleren. Vandaag worden deze testen in het SCK CEN gedaan met de "*Belgian Reactor 2*" (afgekort: BR2-reactor), maar de condities in deze reactor zijn onvoldoende representatief voor toekomstige fusiereactoren. Met de MYRRHA-reactor zal dit veel beter kunnen worden gesimuleerd.

Reeds in 2015 werd beslist om MYRRHA gefaseerd, in drie fasen, te realiseren: eerst het eerste deel van de versneller, dan het tweede deel van de versneller en in een derde fase de reactor. Dit heeft als voordeel dat een eerste stuk van MYRRHA reeds eind 2026 in werking kan zijn, dat de investeringen in de tijd worden gespreid

la fin 2026, d'étaler les investissements dans le temps et de réduire les risques techniques, technologiques et financiers.

*M. Adrian Fabich, directeur de MINERVA Design & Build, SCK CEN, confirme que la première phase de MYRRHA, baptisée "MINERVA", est déjà mise en œuvre. L'accélérateur déjà disponible comporte une première partie qui fonctionne à température ambiante, et une seconde partie qui fonctionne à deux Kelvin (en abrégé: 2 K), une température très basse, inférieure à -270 °C. À Louvain-la-Neuve, le SCK CEN construit la première partie de l'accélérateur, en collaboration avec un institut partenaire. Une photo de la source de protons figure au bas de la diapositive 27 de l'annexe. Les protons issus de cette source entrent dans la première partie de l'accélérateur, un "Radio Frequency Quadrupole" (en abrégé: RFQ). Cela fait déjà deux ans que des protons sont accélérés dans cette installation, mais il ne s'agit là que des dix premiers mètres (en abrégé: m) de l'accélérateur, qui finira par s'étendre sur une longueur totale d'environ 150 m.*

La diapositive 28 de l'annexe présente un module, avec une cavité à 2K, requis pour l'accélération des protons. Dans l'enceinte cryogénique (en anglais: cryovessel) se trouve une chambre à vide avec un blindage magnétique. C'est là que se trouvent les cavités de l'accélérateur, qui fournissent l'énergie aux protons, pour parvenir ainsi à 100 MeV. Ce prototype a été réalisé en collaboration avec un partenaire français.

La diapositive 29 de l'annexe présente une image du futur bâtiment avec toutes ses installations, dans lequel l'accélérateur final pourra être placé. L'accélérateur lui-même, d'une longueur de 150 m, est indiqué en rouge sur le plan. Au-dessus (au nord) de l'accélérateur se trouvent les bâtiments pourvus des installations nécessaires telles que l'électricité, les installations de refroidissement requises pour atteindre les basses températures, etc. Au-dessous (au sud) de l'accélérateur, sur le plan, se trouvent les bâtiments dédiés à l'utilisation des protons accélérés. Un plan plus détaillé est présenté sur la diapositive 30. Les bâtiments importants sont le FPFB (abréviation de "full power facility building") et le PTFB (abréviation de "proton target facility building") au sud de l'accélérateur. Il s'agit là des installations destinées à l'utilisation des protons accélérés – le PTFB pour la production de radio-isotopes médicaux et le FPFB pour la recherche fondamentale.

La diapositive 31 de l'annexe montre les plans de ce à quoi le concept de l'accélérateur pourrait ressembler au final. Une rangée de cryomodules figure en haut à droite de cette diapositive 31. 30 modules de ce type seront nécessaires; ils seront installés dans un tunnel

en het vermindert de technische, de technologische en de financiële risico's.

*De heer Adrian Fabich, directeur MINERVA Design & Build, van het SCK CEN, bevestigt dat de eerste fase van MYRRHA, waarvoor de naam MINERVA wordt gebruikt, reeds wordt geïmplementeerd. De reeds beschikbare versneller heeft een eerste deel dat werkt op omgevings-temperatuur, een tweede deel werkt op twee Kelvin (afgekort: 2 K), een heel lage temperatuur, kouder dan -270 °C. In Louvain-la-Neuve construeert het SCK CEN, samen met een partnerinstituut, het eerste deel van de versneller. Onderaan dia 27 van de bijlage staat een foto van de protonenbron. De protonen van deze bron komen in het eerste deel van de versneller, een "Radio Frequency Quadrupole" (afgekort: RFQ). Sinds twee jaar worden er reeds protonen versneld in deze installatie. Maar het is slechts de eerste tien meter (afkorting: m) van de versneller die in totaal ongeveer 150 m lang wordt.*

Dia 28 van de bijlage toont een module, met een caviteit op 2K, die nodig is om de protonen te versnellen. Het omhulsel wordt een cryovat genoemd (Engels: cryovessel), waarin zich een luchtledige kamer met een magnetische afscherming bevindt. Hierin bevinden zich de versnellercaviteiten, die de energie aan de protonen leveren, om zo tot 100 MeV te komen. Het prototype werd samen met een Franse partner gerealiseerd.

Dia 29 van de bijlage toont een beeld van het toekomstige gebouw met alle voorzieningen, waarin de definitieve versneller kan worden geplaatst. De versneller zelf, met een lengte van 150 m, is rood aangeduid op het grondplan. Boven (noordelijk van) de versneller staan de gebouwen met de noodzakelijke voorzieningen zoals elektriciteit, de koelinstallaties nodig voor het realiseren van de lage temperaturen... Onder (zuidelijk van) de versneller op het grondplan staan de gebouwen voor het gebruiken van de versnelde protonen. Een meer gedetailleerd grondplan wordt getoond op dia 30. Belangrijk hier zijn de FPFB (afkorting van "full power facility building") en de PTFB (afkorting van "proton target facility building") zuidelijk van de versneller. Dit zijn de installaties voor het gebruiken van de versnelde protonen, PTFB voor de productie van medische radio-isotopen en FPFB voor fundamenteel onderzoek.

Op dia 31 van de bijlage staan de plannen van het concept van de versneller zoals die er uiteindelijk zou kunnen uitzien. Rechts bovenaan dia 31 staat een rij cryomodules. Er zullen 30 zulke modules nodig zijn, die in een 100 m lange tunnel zullen staan. Voor deze

de 100 m de long. Ils sont précédés de la partie de l'accélérateur qui fonctionne à température ambiante. La diapositive 32 montre les plans du PTFB, destiné à utiliser les protons accélérés afin de produire des radio-isotopes médicaux.

*M. Hamid Aït Abderrahim, directeur du projet MYRRHA*, explique que dans la première phase, qui court jusqu'en 2026, un accélérateur de 100 MeV (énergie des protons) accompagné de plusieurs installations expérimentales sera construit. Dans une deuxième phase, l'accélérateur sera étendu à 600 MeV (énergie des protons). Le bâtiment du réacteur, contenant le réacteur MYRRHA, sera réalisé dans cette troisième phase. Selon le calendrier actuel, la troisième phase sera réalisée en 2036. Le hall technologique destiné à soutenir le développement du réacteur MYRRHA est déjà construit. Les membres de la sous-commission peuvent d'ailleurs le visiter, rien n'est secret. L'objectif de ce hall est d'apprendre à maîtriser et à contrôler toute la technologie du réacteur MYRRHA. Avant tout, il s'agit de démontrer à l'autorité de sûreté, l'AFCN, que le concept n'est pas seulement sûr sur le papier, mais que les expériences, comme par exemple les tests de durée de vie de certains composants, le confirment.

La conception du réacteur MYRRHA avec tous ses accessoires, telle que présentée sur la diapositive 35 de l'annexe, a été achevée fin 2020. Le réacteur sera refroidi avec du métal liquide, un mélange de plomb et de bismuth. Du MOX à 30 % de Pu sera utilisé comme combustible de base, mais le réacteur pourra fonctionner également avec du combustible contenant des actinides mineurs. Du MOX sera utilisé au départ, puis des tests seront effectués avec le nouveau combustible à actinides mineurs, qui doit encore être développé. En outre, le réacteur comporte quatre échangeurs de chaleur et deux pompes primaires. L'acier étant plus léger que le liquide de refroidissement, le combustible doit être chargé par le bas. La cuve de sécurité est intégrée dans la cuve primaire. La chaleur produite lors de l'arrêt du réacteur peut être évacuée par le système de refroidissement à circulation naturelle, qui fonctionne à un niveau nettement sous-critique: 0,95 seulement. Ce chiffre est très faible: à titre de comparaison, le stockage du combustible nucléaire dans une centrale nucléaire est de 0,98. Le réacteur aura une puissance thermique maximale de 70 MW.

Depuis 2006, MYRRHA a été inclus dans le plan de l'"*European Strategic Forum for Research Infrastructure*" (en abrégé: ESFRI). En 2021, un examen final a été mené pour promouvoir MYRRHA au niveau "*landmark*"; la procédure est toujours en cours. C'est une étape importante, car cette promotion permet de bénéficier de prêts de la Banque européenne d'investissement (en

modules) dont le reste de la partie de l'accélérateur qui fonctionne à température ambiante. Op dia 32 staan de plannen van de PTFB, voor het gebruiken van de versnelde protonen voor het maken van medische radio-isotopen.

*De heer Hamid Aït Abderrahim, directeur MYRRHA-project*, verduidelijkt dat in een tweede fase de versneller zal worden verlengd tot 600 MeV (energie van protonen). In de eerste fase, die loopt tot 2026, wordt een 100 MeV (energie van protonen) versneller met een aantal experimentele installaties gebouwd. Het reactorgebouw, met de MYRRHA-reactor, zal in de derde fase worden gerealiseerd. Volgens de huidige planning zal de derde fase in 2036 gerealiseerd zijn. Vandaag bestaat reeds de technologiehal die werd gebouwd om de ontwikkeling van de MYRRHA-reactor te ondersteunen. Deze hal kan door de leden van de subcommissie worden bezocht, er wordt niets verborgen. Het doel van deze hal is alle technologie van de MYRRHA-reactor onder de knie te krijgen en te beheersen. En vooral om aan de veiligheidsautoriteit, het FANC, te tonen dat het ontwerp niet alleen op papier veilig is, maar dat experimenten, zoals bijvoorbeeld levensduurtesten van bepaalde componenten, dit bevestigen.

Het ontwerp van de MYRRHA-reactor, met alle accessoires, zoals voorgesteld op dia 35 van de bijlage, werd eind 2020 gefinaliseerd. De reactor zal worden gekoeld met vloeibaar metaal, een mengsel van lood en bismut. Als basisbrandstof zal MOX met 30 % Pu worden gebruikt. Maar de reactor zal ook kunnen werken met brandstof die mineure actiniden bevat. Er zal worden gestart met MOX en er zal met de nieuwe brandstof met mineure actiniden, die nog moet worden ontwikkeld, worden getest. Verder heeft de reactor vier warmtewisselaars en twee primaire pompen. Omdat staal lichter is dan de koelvloeistof, moet de splijtstof langs onder worden geladen. Het veiligheidsvat wordt geïntegreerd in het primaire vat. De warmteproductie tijdens een stilstand van de reactor kan door het koelsysteem met natuurlijke circulatie worden geëvacueerd. Er wordt sterk sub-kritisch gewerkt, slechts 0,95. Dit is heel laag, de opslag van kernbrandstof in een kerncentrale is, ter vergelijking, 0,98. De reactor zal een maximum thermisch vermogen van 70 MW hebben.

MYRRHA is sinds 2006 opgenomen in het plan van het "*European Strategic Forum for Research Infrastructure*" (afgekort: ESFRI). In 2021 is er een laatste examen geweest om MYRRHA te promoveren tot het niveau "*landmark*", de procedure is nog lopende. Dit is belangrijk, na promotie komt men in aanmerking voor leningen van de Europese Investeringsbank (afgekort: EIB). MYRRHA

abrégé: BEI). MYRRHA fait également partie du plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (“*European Strategic Energy Technologies Plan*”, en abrégé: SET Plan) ainsi que des deux programmes nationaux, le Pacte national pour les investissements stratégiques et le Plan national intégré Énergie-Climat.

Le projet MYRRHA travaille avec un vaste réseau international d’organisations partenaires: instituts de recherche, universités et entreprises privées. La collaboration dépasse les frontières de l’Union européenne – majoritairement avec le Japon, les États-Unis et la Corée du Sud. Les diapositives 38 et 39 de l’annexe en donnent un aperçu.

Le 7 septembre 2018, le gouvernement belge a décidé de construire MYRRHA en Belgique, sur le site du SCK CEN à Mol. Un budget, en trois parties, a été alloué jusqu’en 2038:

- une première partie pour la construction de MINERVA, dans la période 2019-2026;
- une deuxième partie pour la poursuite des recherches sur l’accélérateur jusqu’à 600 MeV et sur le réacteur, pour la même période 2019-2026;
- une partie pour l’exploitation de MINERVA dans la période 2027-2038.

Il a été décidé il y a un certain temps de fonder une association internationale sans but lucratif (en abrégé: AISBL) pour accueillir les partenaires internationaux et leur permettre de participer officiellement au projet. La fondation de l’AISBL MYRRHA s’inscrit dans le cadre de la décision du gouvernement fédéral de soutenir davantage le projet. Cette AISBL est une entité juridique totalement indépendante du SCK CEN. Par exemple, il pourrait être plus facile de convaincre des partenaires de pays sortant du nucléaire d’investir dans cette AISBL, qui investit elle-même dans un projet de traitement des déchets nucléaires, que dans un centre d’études nucléaires belge comme le SCK CEN. Les rôles et les responsabilités entre le SCK CEN et l’AISBL MYRRHA ont été rigoureusement délimités: le SCK CEN assure la conception et la réalisation de MINERVA, continue à travailler au développement des phases deux et trois et, en tant qu’opérateur, est responsable de l’obtention des permis pour la construction et l’exploitation de MINERVA puis, ultérieurement, de MYRRHA. L’AISBL MYRRHA, de son côté, est en charge de la mise en place du consortium international et se doit de garantir la continuité de l’ensemble du programme MYRRHA. L’AISBL a pour fondateurs l’État belge et le SCK CEN. Moyennant le paiement d’une cotisation, peuvent devenir membres de l’AISBL:

zit ook in het “*European Strategic Energy Technologies Plan*” (afgekort: SET Plan) en ook in twee nationale programma’s, het Nationaal Pact voor Strategische Investerings en het Geïntegreerd Nationaal Energie- en Klimaatplan.

Het MYRRHA-project werkt met een groot internationaal netwerk van partner organisaties. Dit zijn onderzoeksinstituten, universiteiten en privébedrijven. Er wordt breder dan de Europese Unie gewerkt, veel met Japan, de Verenigde Staten en Zuid-Korea. Een overzicht staat op dia’s 38 en 39 van de bijlage.

De Belgische regering heeft op 7 September 2018 beslist om MYRRHA in België, op de terreinen van het SCK CEN in Mol, te bouwen. Er werd een budget, in drie delen, tot 2038 toegekend:

- een eerste deel voor de bouw van MINERVA, in de periode 2019-2026;
- een tweede deel voor verder onderzoek in de versneller tot 600 MeV en in de reactor, ook in de periode 2019-2026;
- een derde enveloppe is voor de uitbating van MINERVA in de periode 2027 tot 2038.

Er werd, reeds langere tijd geleden, beslist om een internationale vereniging zonder winstoogmerk (afgekort: ivzw) op te richten, om de internationale partners te verwelkomen en ze officieel in het project te laten participeren. De oprichting van MYRRHA ivzw kadert in de beslissing van de federale regering om MYRRHA verder te ondersteunen. Deze ivzw is een legale entiteit die volledig onafhankelijk is van het SCK CEN. Het kan bijvoorbeeld gemakkelijker zijn om partners uit landen die uit kernenergie stappen te overtuigen om te investeren in deze ivzw, die investeert in een project voor de behandeling van nucleair afval, dan in een Belgisch nucleair studiecentrum, zoals het SCK CEN. De rollen en verantwoordelijkheden tussen het SCK CEN en MYRRHA ivzw werden goed vastgelegd. Het SCK CEN zorgt voor het ontwerp en de realisatie van MINERVA, werkt verder aan de ontwikkeling van de fasen twee en drie en is als operator verantwoordelijk voor het bekomen van de vergunningen voor de constructie en de uitbating van MINERVA en later van MYRRHA. MYRRHA ivzw is verantwoordelijk voor de oprichting van het internationale consortium, en moet de continuïteit van het gehele MYRRHA-programma garanderen. De Belgische staat en het SCK CEN zijn de oprichters van de ivzw. Mits het betalen van een bijdrage kunnen lid worden van de ivzw:

- les pays;
- les instituts de recherche, centres de recherche ou industries nationaux de ces pays;
- les associations ou instituts internationaux, tels que le Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (en abrégé: CERN).

Une contribution en espèces ou en nature est acceptée. Pour siéger au sein de l'organe d'administration de l' AISBL, la cotisation minimale est de 40 millions d'euros. Les cotisations inférieures sont également acceptées, mais ces membres ne seront pas représentés au sein du conseil d'administration. Les membres dont la cotisation est supérieure à 40 millions d'euros n'auront toujours qu'un seul représentant au sein de l'organe d'administration, mais leur droit de vote correspondra au multiple de 40 millions d'euros de leur cotisation. Les membres qui paient une cotisation inférieure pourront toutefois siéger au conseil technique et scientifique de l' AISBL: "International Scientific and Technical Advisory Board", en abrégé: ISTAB).

En résumé, l'on peut dire que MYRRHA est un grand projet de recherche qui ouvre des perspectives à la Belgique en maintenant son haut niveau de connaissances et de compétences nucléaires, quel que soit l'avenir de la production d'électricité issue du nucléaire. Dans le domaine des applications nucléaires médicales et de la technologie nucléaire, la Belgique est internationalement reconnue. L'étude réalisée par PricewaterhouseCoopers (en abrégé: PwC) sur l'impact socioéconomique du projet MYRRHA durant sa construction et son exploitation jusqu'en 2065 a démontré un retour sur investissement de 6,4 milliards d'euros, avec une création de 34 000 emplois en équivalents temps plein (en abrégé: ETP).

Que la Belgique ait pris la décision de mettre en œuvre le projet MYRRHA atteste également sa volonté de rester un pôle d'attraction international. Vingt-quatre nationalités différentes collaborent au projet MYRRHA. Celui-ci a toutefois été mis en place avant tout pour apporter des réponses aux défis et aux problèmes sociaux: problématiques des applications médicales nucléaires, des déchets nucléaires, de la durabilité de la production d'énergie, etc., en encourageant la collaboration internationale.

- landen;
- nationale onderzoeksinstituten, onderzoekscentra of industrieën van deze landen;
- internationale verenigingen of instituten, zoals het "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire" (afgekort: CERN).

Een bijdrage in cash of in natura wordt geaccepteerd. Om in het bestuursorgaan van de vereniging te zetelen bedraagt de minimum bijdrage 40 miljoen euro. Kleinere bijdragen worden ook aanvaard, maar deze leden krijgen geen vertegenwoordiging in de raad van bestuur. Leden die meer bijdragen dan 40 miljoen euro, krijgen nog steeds één vertegenwoordiger in het bestuursorgaan, maar krijgen stemrechten gelijk aan het veelvoud van 40 miljoen euro dat ze bijdragen. Leden die een kleinere bijdrage betalen krijgen wel een zetel in de technische en wetenschappelijke raad van de ivzw (Engels: "International Scientific and Technical Advisory Board", afgekort: ISTAB).

Samenvattend kan men stellen dat MYRRHA een groot onderzoeksproject is, dat perspectieven opent voor België, dat de hoge nucleaire kennis en competenties behoudt, wat ook de toekomst van de nucleaire elektriciteitsproductie zal zijn. Op het gebied van medische nucleaire toepassingen en nucleaire technologie wordt België wereldwijd gewaardeerd. De door PricewaterhouseCoopers (afgekort: PwC) uitgevoerde studie over de sociaaleconomische impact van het MYRRHA-project tijdens de constructie en de uitbating tot 2065 heeft aangetoond dat er een rendement op de investering is van 6.4 miljard euro, en 34 000 "full time equivalent" (afgekort: FET) arbeidsplaatsen oplevert.

Dat België de beslissing om het MYRRHA-project uit te voeren heeft genomen, toont ook aan dat België een internationale aantrekkingspool wil blijven. Aan het MYRRHA-project werken 24 verschillende nationaliteiten. Maar het MYRRHA-project wordt in de eerste plaats gedaan om antwoorden te formuleren op de maatschappelijke problemen en de uitdagingen, voor de problematiek van de nucleaire medische toepassingen, van het nucleaire afval en van de duurzaamheid van de energieopwekking... En daarbij wordt internationale samenwerking aangemoedigd.

## II. — ÉCHANGE DE VUES

### A. Questions et observations des membres

*Mme Kim Buyst (Ecolo-Groen)* demande une réexplication de la quatrième et dernière étape de l'“advanced reprocessing”. MYRRHA a été fondé en 1995 et devait assurer la transmutation. Est-ce le seul point qui a été étudié depuis lors? Le niveau TRL du réacteur sous-critique MYRRHA n'est que de 4 à 5. Combien de temps faudrait-il pour une application concrète dans la pratique? MYRRHA propose-t-il également une solution pour les déchets déjà vitrifiés? À quoi ressemblera un futur site comptant 15 EFIT? Les mêmes règles de sécurité que dans une centrale nucléaire actuelle y seront-elles requises? MYRRHA pourrait-il également être déployé dans des applications moins sûres? Le réacteur MYRRHA est nécessaire pour la transmutation, mais les autres objectifs du projet MYRRHA, tels que les études pour les SMR, les radio-isotopes nucléaires, etc. ont également, par le passé, été réalisés dans le réacteur BR2. MYRRHA est-il donc essentiel pour ces objectifs, ou peuvent-ils aussi être étudiés dans un autre type de réacteur de recherche?

Le financement du projet MYRRHA soulève des inquiétudes. Continuer à investir dans la recherche et l'innovation est bien entendu important, mais un montant conséquent, provenant de fonds publics et de fonds du SCK CEN, a déjà été investi dans MYRRHA ces dernières années. Le rapport de l'ESFRI souligne bien la grande valeur scientifique du projet MYRRHA, mais ajoute qu'il ne sera pas promu au niveau de “landmark” en 2021, et qu'une meilleure base de mise en œuvre est attendue dans les années à venir. Comment veiller à garantir la mise en œuvre afin d'attirer les investisseurs européens?

Les 34 000 ETP cités concernent-ils uniquement le projet MYRRHA, ou s'agit-il de l'ensemble des emplois au SCK CEN?

La Russie était impliquée par le passé, mais qu'en est-il aujourd'hui? L'est-elle toujours? Des actions spécifiques en matière de sécurité ont-elles été menées?

*Mme Mélissa Hanus (PS)* sait que fin 2021, le rapport de sûreté provisoire relatif à la première phase a été envoyé à l'AFCN. Quels sont les contacts avec l'AFCN sur ce point? Pour 2022, le budget fédéral alloué aux matières scientifiques prévoit 43 millions d'euros pour le projet MYRRHA, principalement pour la mise en œuvre de la première phase et pour la préparation de la deuxième phase. En même temps, l'insuffisance de financement externe pour la réalisation des deuxième et troisième phases du projet a également été soulignée.

## II. — GEDACHTEWISSELING

### A. Vragen en opmerkingen van de leden

*Mevrouw Kim Buyst (Ecolo-Groen)* vraagt om de vierde en laatste stap in het “advanced reprocessing” proces nog eens uit te leggen. MYRRHA werd in 1995 opgericht en zou moeten zorgen voor de transmutatie. Heeft men binnen MYRRHA sinds 1995 enkel dat bestudeerd? De sub-kritische MYRRHA-reactor heeft slechts een TRL van vier à vijf. Hoelang zou het duren om dit echt in de praktijk te realiseren? Heeft MYRRHA ook een oplossing voor afval dat reeds werd verglasd? Hoe zal een toekomstige site met 15 EFIT's eruitzien? Zullen daar dezelfde veiligheidsvoorschriften nodig zijn zoals in een huidige kerncentrale? Zou MYRRHA ook kunnen worden ingezet in minder veilige toepassingen? Voor transmutatie is de MYRRHA-reactor nodig, maar kunnen de andere doelstellingen van het MYRRHA-project, zoals de studies voor SMR's, de nucleaire radio-isotopen... werden in het verleden ook in de BR2 reactor gedaan. Is MYRRHA hiervoor nodig of kan dat ook in een ander soort onderzoeksreactor worden onderzocht?

De financiering van het MYRRHA-project maakt mensen bezorgd. Het is natuurlijk belangrijk dat er blijvend wordt geïnvesteerd in onderzoek en innovatie, maar de voorbije jaren zijn er reeds veel publieke middelen en middelen van het SCK CEN in MYRRHA geïnvesteerd. Het ESFRI-rapport vermeldt dat MYRRHA een hoge wetenschappelijke waarde heeft, maar dat het niet wordt gepromoveerd tot het niveau “landmark” in 2021, en dat het in de volgende jaren een betere grond voor implementatie verwacht. Hoe kan ervoor worden gezorgd dat de implementatie er zeker komt, zodat er Europese investeerders kunnen worden aangetrokken?

Zijn de genoemde 34 000 FET arbeidsplaatsen enkel voor het MYRRHA-project, of is dat de volledige tewerkstelling van het SCK CEN?

Rusland was vroeger betrokken, maar hoe is dat vandaag? Is Rusland nog altijd betrokken? Zijn er bepaalde veiligheidsacties ondernomen?

*Mevrouw Mélissa Hanus (PS)* weet dat eind 2021 het voorlopige veiligheidsrapport voor de eerste fase naar het FANC werden verstuurd. Welke contacten zijn er hierover met het FANC? Voor 2022 voorziet de federale begroting voor wetenschap 43 miljoen euro voor het MYRRHA-project, hoofdzakelijk voor de uitvoering van de eerste fase en voor de voorbereiding van de tweede fase. Gelijktijdig werd ook vastgesteld dat er externe financiering ontbreekt voor de realisatie van de tweede en de derde fase van het project. De regering heeft zijn

Le gouvernement a exprimé son intention de recruter des administrateurs indépendants. Serait-il possible d'avoir des précisions sur les fonds externes et sur les méthodes déployées par l' AISBL pour attirer les investisseurs? Des garanties pour la poursuite du projet après 2026 seront-elles données? La collaboration avec Électricité de France (en abrégé: EDF) va-t-elle se poursuivre? Le groupe de coopération internationale "high level", mis en place par le gouvernement, a-t-il l'autorisation de poursuivre ses travaux? Les discussions seront-elles plus aisées à présent que la pandémie est derrière nous? Comment se déroule la collaboration avec le gouvernement pour ce projet?

Le projet MYRRHA est-il conforme à la future technologie nucléaire suivant la nouvelle taxonomie européenne? Comment cette nouvelle taxonomie pourrait-elle affecter le projet? Sera-t-il plus aisé d'investir? Cette nouvelle taxonomie affecte-t-elle la recherche fondamentale? Comment MYRRHA peut-il contribuer au développement des SMR? La ministre de l'Énergie a déclaré que le projet MYRRHA pouvait jouer un rôle important dans le développement des SMR grâce aux connaissances acquises par le SCK CEN. Des précisions peuvent-elles être données?

*M. Kurt Ravyts (VB)* constate que le gouvernement veut positionner la Belgique comme centre d'excellence dans le domaine de la médecine nucléaire. Dans le cadre de MYRRHA, il s'agit plutôt du respect des engagements pris par le gouvernement précédent. Au niveau du retour sur investissement, il serait toutefois intéressant de savoir ce qui a été accompli dans le projet MYRRHA avec l'engagement du gouvernement précédent d'y investir par étapes quelque 600 millions d'euros. Un aperçu des différents flux de financement peut-il être présenté? Le budget 2022 alloue 30 millions d'euros au SCK CEN, indépendamment du projet MYRRHA. En outre, 25 millions d'euros sont prévus pour la minimalisation des flux de déchets au cours des démantèlements. Viennent s'y ajouter les fonds européens du plan belge issus du plan de relance "NextGenerationEU". Les financements peuvent-ils être clarifiés?

L' AISBL est indépendante du SCK CEN, mais elle en utilisera des services tels que les technologies de l'information ("Information Technology", en abrégé: IT), la comptabilité, les bâtiments, les recherches médicales nucléaires, les études de sécurité et d'ingénierie, etc. Des accords – les "service level agreements" (en abrégé: SLA) – doivent être passés à cette fin. Selon la ministre de l'Énergie, Tinne Van der Straeten, ces SLA devaient être définis et prêts à être mis en œuvre pour le 31 décembre 2021.

bereidheid geuit om onafhankelijke bestuurders aan te trekken. Kan er iets meer informatie worden gegeven over de externe fondsen en over de methodes die de ivzw gebruikt om investeerders aan te trekken? Zullen er garanties worden gegeven voor de verderzetting van het project na 2026? Wordt de samenwerking met Électricité de France (afgekort: EDF) verdergezet? Heeft de "high level" internationale samenwerkingsgroep, door de regering geïnstalleerd, toelating om verder te werken? Worden de discussies gemakkelijker nu we in een post-pandemie situatie zitten? Hoe verloopt de samenwerking voor dit project met de regering?

Is het MYRRHA-project conform met de toekomstige nucleaire technologie volgens de nieuwe Europese taxonomie? Hoe kan deze nieuwe Europese taxonomie het project beïnvloeden? Zal er gemakkelijker worden geïnvesteerd? Heeft de nieuwe taxonomie een invloed op het fundamenteel onderzoek? En hoe kan MYRRHA nuttig zijn voor het ontwikkelen van SMR's? De minister van Energie heeft gezegd dat het MYRRHA-project een belangrijke rol kan spelen in het ontwikkelen van SMR's dankzij de kennis opgedaan door het SCK CEN. Kan hierover iets meer informatie worden gegeven?

*De heer Kurt Ravyts (VB)* stelt vast dat de regering België als excellentiecentrum op het gebied van de nucleaire geneeskunde wil promoten. Op het gebied van MYRRHA is dat eerder het honoreren van de verbintenissen die de vorige regering is aangegaan. Maar het is, in het kader van het rendement op de investeringen, interessant te weten wat er, voor de toezegging van de vorige regering om gefaseerd afgerond 600 miljoen euro in MYRRHA te investeren, gedaan is in het MYRRHA-project. Kan er een overzicht worden gegeven van de verschillende financieringsstromen? In de begroting van 2022 is, los van MYRRHA, 30 miljoen euro voorzien voor het SCK CEN. Daarnaast is er 25 miljoen euro voor het minimaliseren van de afvalstromen bij de ontmantelingen. Daarnaast zijn er ook Europese middelen uit het Belgische plan in het "NextGenerationEU" herstelplan. Kan dit worden verduidelijkt?

De ivzw staat los van het SCK CEN, maar zal wel diensten van het SCK CEN, zoals "Information Technology" (afgekort: IT), boekhouding, gebouwen, nucleaire medische onderzoeken, veiligheids- en ingenieursstudies... gebruiken. Hiervoor moeten contracten worden opgesteld, de zogenaamde "service level agreements" (afgekort: SLA's). Volgens de minister van Energie, Tinne Van der Straeten, moesten deze SLA's tegen 31 december 2021 voor uitvoering opgesteld en klaar zijn.

Le groupe de travail mis en place pour la promotion et la distribution internationale de MYRRHA doit s'axer en priorité sur plusieurs pays, tels que la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, les États-Unis, le Japon, etc. Il devrait définir la raison de faire partie du consortium, pour chaque pays. Où en est ce dossier?

Le gouvernement appelle de ses vœux une mise à jour de l'étude de PwC sur l'impact socioéconomique, en tenant compte de la pandémie passée et de la situation économique actuelle. Une "peer review" a été effectuée il y a onze ou douze ans. Sa conclusion, à l'époque, était que construire une installation comme MYRRHA en Belgique était une excellente idée. Une nouvelle "peer review" est à présent demandée, compte tenu des progrès, quoique peut-être limités, réalisés au cours de la dernière décennie. Il est normal de s'interroger sur ce qu'il advient des deniers publics.

*Mme Marie-Christine Marghem (MR)* connaît très bien le projet MYRRHA et continuera à le soutenir à l'avenir. Pouvoir attirer des partenaires extérieurs est déjà une preuve de la pertinence de ce projet, mais un soutien financier s'impose également. La fondation de cette AISBL est une excellente chose. Il convient de désigner une personne qui sera chargée de la collecte de fonds internationaux auprès d'autres pays et d'autres institutions, afin que cet important projet puisse se poursuivre. Nous savons qu'il est impossible de prévoir la maturité industrielle de MYRRHA, mais plus il y aura de partenaires collaborant à ce projet, plus vite il sera possible d'aboutir aux applications concrètes.

*Mme Marianne Verhaert (Open Vld)* sait que grâce à MYRRHA, il sera également possible à l'avenir de répondre à la demande croissante de radio-isotopes pour le traitement plus ciblé du cancer, avec moins d'effets secondaires pour les patients. Cette partie sera-t-elle en service à partir de 2027, ou le calendrier a-t-il changé?

Les prix de la construction sont en train de s'envoler. Comment cela affectera-t-il les coûts du projet MINERVA? Les fonds alloués sont-ils indexés?

Le gouvernement fédéral a prévu un audit. Comment cet audit est-il perçu? Le SCK CEN a-t-il été interrogé à ce sujet?

Un budget substantiel doit encore être trouvé, en plus des moyens financiers alloués par le gouvernement belge. Où en sont les recherches de ces fonds supplémentaires? Où en est le dossier du financement supplémentaire par la BEI? Que pense le SCK CEN

De werkgroep, opgericht voor het internationaal propageren en verspreiden van MYRRHA, moet zich prioritair richten op een aantal landen, zoals Frankrijk, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten, Japan... De werkgroep zou voor elk land de reden om deel uit te maken van het consortium moeten definiëren. Wat is hier de stand van zaken?

De regering wil een actualisering van de PwC-studie over de sociaaleconomische impact, rekening houdend met de voorbije pandemie en de huidige economische situatie. Elf of twaalf jaar geleden was er een "peer review". De conclusie was toen dat het een fantastisch idee was om een installatie zoals MYRRHA in België te bouwen. Er wordt nu een nieuwe "peer review" gevraagd, rekening houdende met de misschien beperkte vooruitgang van de voorbije tien jaar. Het is toch normaal dat er wordt gevraagd wat er met het gemeenschapsgeld gebeurt.

*Mevrouw Marie-Christine Marghem (MR)* kent het project MYRRHA heel goed en blijft het ook in de toekomst steunen. Het feit dat externe partners kunnen worden aangetrokken is reeds een bewijs dat dit project relevant is. Maar er moet ook een financiële ondersteuning komen. Het is een heel goede zaak dat de ivzw werd opgericht. Er moet één persoon komen die zich bezighoudt met de internationale fondsenwerving van andere landen en andere instellingen, zodat dit belangrijke project kan worden verdergezet. Het is bekend dat de industriële maturiteit van MYRRHA niet kan worden voorspeld, maar hoe meer partners meewerken aan dit project, hoe sneller tot concrete toepassingen zal kunnen worden gekomen.

*Mevrouw Marianne Verhaert (Open Vld)* weet dat dankzij MYRRHA ook in de toekomst een antwoord zal kunnen worden geboden op de toenemende vraag aan radio-isotopen voor de gerichtere behandeling van kanker, met minder bijwerkingen voor de patiënten. Komt dit deel vanaf 2027 in bedrijf, of is de planning veranderd?

De bouwprijzen stijgen heel sterk op dit moment. Weke invloed heeft dit op de kosten voor het MINERVA project? Worden de toegekende middelen geïndexeerd?

De federale regering heeft een audit voorzien. Hoe wordt er naar deze audit gekeken? Is het SCK CEN hierover al bevraagd geweest?

Naast de financiële middelen die de Belgische regering voorziet, dient er nog een aanzienlijk budget te worden gezocht. Hoe staat het met het aantrekken van extra financiering? Wat is de stand van zaken op het gebied van extra financiering door de EIB? Hoe staat het SCK

de la nomination pour le projet MYRRHA d'un envoyé spécial chargé d'attirer les financements étrangers?

Pour les applications médicales, un partenariat avec les Pays-Bas est déjà en place. Ensemble, le réacteur de Petten et le réacteur BR2 de Mol répondent à la quasi-totalité de la demande européenne de radio-isotopes médicaux. Ces deux réacteurs datant des années 1960, les doter d'une nouvelle infrastructure pour cette application est souhaitable. MYRRHA pourrait-il remplacer le réacteur BR2?

La Belgique est un leader mondial et le projet MYRRHA créera de nombreux emplois. Les postes vacants du SCK CEN sont-ils actuellement pourvus? Le SCK CEN sera-t-il toujours en mesure de les pourvoir à l'avenir? Des mesures politiques s'imposent-elles pour que la Belgique puisse rester un leader mondial? Quelles autres mesures peuvent-elles être prises au niveau politique pour soutenir cet important projet?

*M. Kris Verduyckt (Vooruit)* a, en préparation de la présente audition, lu une interview de M. Hamid Aït Abderrahim et se pose plusieurs questions sur ce qu'il y a trouvé.

La réduction de la durée de vie des déchets radioactifs de 300 000 à 10 000 puis à 300 ans s'applique-t-elle uniquement aux déchets belges? Par ailleurs, est-il possible de garantir que MYRRHA sera capable de traiter les déchets nucléaires belges? Ou s'agit-il d'applications ailleurs dans le monde, que la Belgique peut proposer à l'étranger?

Une partie des déchets nucléaires restera toujours problématique pendant des dizaines de milliers d'années et un stockage géologique reste donc nécessaire. À l'heure actuelle, la solution n'est disponible qu'au niveau du laboratoire. Au moins 10 milliards d'euros seraient requis pour aboutir à des projets de démonstration au stade préindustriel. Les applications préindustrielles devraient être disponibles d'ici 2040 à 2050, et les déchets nucléaires pourraient être effectivement traités d'ici 2070 à 2080. Ce calendrier est-il toujours d'actualité?

Le gouvernement place une grande confiance dans le projet MYRRHA. Cependant, le niveau TRL de certaines parties du projet n'est pas très élevé et il n'y a aucune garantie qu'elles aboutissent un jour à une application industrielle. Comment le SCK CEN peut-il convaincre le gouvernement de poursuivre ces investissements? D'autres technologies, comme les énergies renouvelables, se font toujours moins onéreuses, tandis que

CEN tegenover het aanduiden van een speciale gezant voor het MYRRHA-project, die zou moeten meehelpen om buitenlandse financiering aan te trekken?

Voor de medische toepassingen bestaat er reeds een samenwerkingsverband met Nederland. De reactor in Petten en de BR2 reactor in Mol voorzien samen in bijna de volledige Europese behoefte aan medische radio-isotopen. Beide reactoren dateren uit de jaren 60, en nieuwe infrastructuur hiervoor is wenselijk. Is MYRRHA een mogelijke vervanging van de BR2 reactor?

België is wereldtop en het MYRRHA-project zal voor heel wat bijkomende tewerkstelling zorgen. Krijgt het SCK CEN zijn vacatures vandaag nog ingevuld? En zal het SCK CEN in de toekomst de vacatures nog kunnen invullen? Zijn er acties van het beleid nodig zodat België wereldtop kan blijven? Welke maatregelen kan het beleid nog nemen om dit belangrijke project verder te ondersteunen?

*De heer Kris Verduyckt (Vooruit)* heeft, als voorbereiding, een interview met de heer Hamid Aït Abderrahim gelezen en heeft daarover enkele vragen.

Geldt de reductie van de levensduur van het radioactieve afval van 300 000 naar 10 000 en dan naar 300 jaar enkel voor het Belgische afval? En anderzijds, kan er worden gegarandeerd dat MYRRHA het Belgische nucleaire afval kan verwerken? Of gaat het over toepassingen elders in de wereld, die België aan het buitenland kan aanbieden?

Een deel van het nucleair afval zal altijd tienduizenden jaren problematisch blijven en daarvoor is geologische berging noodzakelijk. Vandaag is er enkel een oplossing beschikbaar op laboniveau. Er zou minstens 10 miljard euro nodig zijn om tot pre-industriële demonstratieprojecten te komen. De pre-industriële toepassingen zouden tegen 2040 à 2050 beschikbaar zijn, tegen 2070 à 2080 kan het nucleaire afval echt worden behandeld. Klopt deze planning nog steeds?

De overheid schenkt heel veel vertrouwen aan het MYRRHA-project. Het TRL van bepaalde delen van het project is niet echt hoog, en er is geen garantie dat ze ooit tot een industriële toepassing zullen leiden. Hoe kan het SCK CEN de overheid overtuigen deze investeringen te blijven doen? Andere technologieën, zoals hernieuwbare energie, blijven goedkoper worden, terwijl kernenergie steeds duurder wordt. Geologische

le coût de l'énergie nucléaire ne cesse de grimper; le stockage géologique restera en outre toujours une nécessité. Comment garantir, dès lors, que MYRRHA reste utile et nécessaire?

Quel est le lien entre MYRRHA et les applications médicales?

Le réacteur BR2 devra être remplacé un jour. Est-ce réellement nécessaire? Une collaboration avec Petten est-elle envisageable?

MYRRHA relève de la structure du SCK CEN. L'ASBL poursuit-elle l'objectif de mettre en place une structure indépendante et de s'affranchir du SCK CEN? N'utilise-t-elle pas un important financement indirect? Ne vaudrait-il pas mieux que cela soit scindé?

*M. Bert Wollants (N-VA)* demande si le passage de 100 MeV à 600 MeV de l'accélérateur produira un supplément d'isotopes médicaux par rapport à la première phase. Quelle est la différence entre le BR2 et MYRRHA sur le plan des isotopes médicaux?

Tous ne comprennent pas de la même manière les différents niveaux TRL. Les membres de la sous-commission ne semblent pas se fier aux parties dont le niveau TRL est de 4 à 5. Qu'en pense le SCK CEN? Leur fait-il davantage confiance?

Un gouvernement qui doute lui-même du projet ne facilite guère la promotion de MYRRHA à l'étranger. Que serait-il nécessaire, spécifiquement, pour que le gouvernement et le Parlement soutiennent pleinement ce projet? La ministre de l'Énergie, Tinne Van der Straeten, a confirmé son entier soutien et a ajouté vouloir en devenir le visage. Serait-ce une aide?

La technologie MYRRHA peut-elle être utilisée pour le traitement du combustible MOX usé?

Les questions posées par les membres de la sous-commission sur le financement sont assurément pertinentes, mais il appartient peut-être à la ministre de l'Énergie de clarifier ce point. Qu'en pense le SCK CEN?

Quels sont les principaux concurrents de MYRRHA dans le domaine du traitement du combustible usé? Ou personne n'a-t-il de réponse à cette question?

bergung zal altijd nodig blijven, hoe kan er dan worden gegarandeerd dat MYRRHA nuttig en nodig is?

Wat is het verband tussen MYRRHA en de medische toepassingen?

De BR2-reactor moet ooit worden vervangen. Is het echt noodzakelijk dat die wordt vervangen? Is een samenwerking met Petten een mogelijkheid?

MYRRHA valt onder de structuur van het SCK CEN. Is het de bedoeling van de ivzw om een onafhankelijke structuur te krijgen en weg te gaan van het SCK CEN? Wordt er door de ivzw niet veel indirecte financiering gebruikt? Zou het niet beter zijn dat dit uit elkaar wordt getrokken?

*De heer Bert Wollants (N-VA)* vraagt of het opvoeren van de versneller, van 100 MeV naar 600 MeV, in vergelijking met de fase één voor extra medische isotopen zal zorgen. Waar ligt het verschil in medische isotopen tussen BR2 en MYRRHA?

De verschillende TRL-niveaus worden niet door iedereen op dezelfde manier begrepen. De leden van de subcommissie lijken niet zoveel vertrouwen te hebben voor delen met een TRL-niveau van vier tot vijf. Hoe denkt het SCK CEN daarover, is er meer vertrouwen bij het SCK CEN?

Het promoten van MYRRHA in het buitenland wordt niet geholpen door een overheid die zelf twijfelt aan het project. Wat is er specifiek nodig om ervoor te zorgen dat de overheid, en het Parlement, dit project ten volle steunen? De minister van Energie, Tinne Van der Straeten, heeft bevestigd dat ze het project volledig steunt en ook dat ze het gezicht van dit project wil worden. Kan dat helpen?

Kan de MYRRHA-technologie worden gebruikt voor het verwerken van gebruikte MOX-brandstof?

De vragen door de leden van de subcommissie gesteld over de financiering zijn zeker relevant, maar het is misschien aan de minister van Energie om hierover meer duidelijkheid te verschaffen. Hoe ziet het SCK CEN dit?

Wat zijn de belangrijkste concurrenten voor MYRRHA, op het vlak van het verwerken van gebruikte brandstof? Of heeft er niemand een antwoord op deze vraag?

## B. Réponses des invités

*M. Peter Baeten, directeur général adjoint du SCK CEN, déclare que, partant de l'idée que la séparation et transmutation complète est la meilleure solution, d'un point de vue éthique comme financier, il existe deux possibilités:*

- Un parc de réacteurs rapides produisant de l'électricité, qui assurent encore un peu de transmutation. C'est une possibilité pour des pays tels que la France, qui continueront à l'avenir à produire de l'électricité issue du nucléaire.

- L'autre option est une transmutation concentrée, et la seule option ouverte aux pays tels que l'Allemagne et la Belgique, qui vont abandonner cette production.

Ce scénario P&T, associé aux installations de séparation et aux systèmes de production du combustible, devrait être organisé sur un unique site. Au niveau de la sûreté nucléaire, il serait comparable à l'actuel site de Doel, par exemple. D'un point de vue pratique, il serait toutefois préférable d'examiner où se situent actuellement les installations de retraitement, comme La Hague en France, et d'y installer plusieurs réacteurs de transmutation.

Les déchets vitrifiés ne peuvent pas bénéficier de ce procédé. L'uranium et le plutonium peuvent être extraits du combustible usé actuellement stocké à Doel et à Tihange. Si l'on veut garder ouverte l'option de la transmutation, il convient toutefois d'attendre pour la vitrification.

Le scénario P&T a une envergure internationale; différents partenaires devront contribuer aux différentes parties du projet – d'où l'extrême importance du rapport actuellement établi au niveau de l'OCDE, qui préconise des programmes internationaux à grande échelle.

Le lien entre MYRRHA et les SMR est indubitable. La technologie utilisée pour MYRRHA peut également être appliquée dans les SMR refroidis au plomb. En tant qu'installation d'irradiation, MYRRHA est aussi en mesure de tester de nouveaux matériaux pour les SMR.

*M. Hamid Aït Abderrahim, directeur du projet MYRRHA, répond aux questions portant sur les années précédentes du projet MYRRHA, qui a été lancé en 1998. Depuis les années 1980, 24 pays différents ont collaboré aux quatre blocs du cycle du combustible "Advanced reprocessing" décrit plus haut, d'abord à l'échelle du laboratoire avec un niveau TRL entre 0 et 3. MYRRHA a été lancé en 1998 dans le but de construire*

## B. Antwoorden van de genodigden

*De heer Peter Baeten, adjunct-directeur-generaal van het SCK CEN, zegt dat als er wordt vertrokken van het idee dat volledige scheiding en transmutatie vanuit ethische en vanuit financiële bekommernissen het beste is, er twee mogelijkheden zijn:*

- Een park van snelle reactoren met elektriciteitsproductie, reactoren die ook nog wat transmuteren. Dit kan voor landen zoals Frankrijk, die ook in de toekomst nucleaire elektriciteitsproductie zullen hebben.

- Een geconcentreerde transmutatie is de andere optie, en de enige optie voor landen zoals Duitsland en België, waar de nucleaire elektriciteitsproductie zal worden gestopt.

Dit P&T scenario zou, samen met de scheidingsinstallaties en de systemen om de brandstof te maken, op één site moeten worden georganiseerd. Vanuit nucleair beveiligingsoogpunt is dit vergelijkbaar met bijvoorbeeld de huidige site in Doel. Maar vanuit praktisch oogpunt zou het beter zijn te kijken waar de reprocessing installaties vandaag staan, zoals in het Franse La Hague, en daar een aantal transmutatie-reactoren bij te plaatsen.

Verglaasd afval komt niet in aanmerking voor dit proces. Uit de gebruikte brandstof die vandaag in Doel en Tihange ligt opgeslagen, kan het uranium en het plutonium eruit worden gehaald. Maar met verglazen zou moeten worden gewacht indien men de optie voor transmutatie wil openhouden.

P&T is een internationaal verhaal, verschillende partners zullen moeten bijdragen aan de verschillende delen van het project. Vandaar dat het rapport dat nu op OESO-niveau wordt gemaakt, dat pleit voor programma's van verschillende landen op grote schaal, essentieel is.

Het is duidelijk dat er een verband is tussen MYRRHA en het SMR-verhaal. De technologie die wordt gebruikt voor MYRRHA kan ook voor loodgekoelde SMR's worden gebruikt. MYRRHA kan als bestralingsinstallatie ook nieuwe materialen testen voor SMR's.

*De heer Hamid Aït Abderrahim, directeur MYRRHA-project, antwoordt op de vragen over de voorgaande jaren van het MYRRHA-project, dat werd gestart in 1998. Maar sinds de jaren 80 wordt er samen met 24 verschillende landen, aan de vier blokken van de splijtstofcyclus "Advanced reprocessing", zoals supra beschreven, gewerkt. Eerst op laboschaal, met een TRL tussen nul en drie. MYRRHA werd gestart in 1998 met als doel*

une installation de démonstration ADS. Cependant, des essais avec un accélérateur couplé à un réacteur sous-critique ont été réalisés dès 1993, d'abord au CERN, puis en Espagne. Tant que le niveau TRL se situe entre 1 et 3, les moyens financiers requis sont modiques. Par contre, lorsque le niveau TRL augmente, les moyens nécessaires deviennent si élevés qu'un laboratoire ne peut plus les supporter. Dès lors, un financement externe s'impose. Il arrive fréquemment que seuls les gouvernements soutiennent de tels projets, avec des fonds publics. Lorsque le niveau TRL atteint 7, les partenariats public-privé deviennent possibles. Voilà qui explique pourquoi le développement de nombreuses technologies aux niveaux TRL de 3 à 7 s'arrête. Un pays et un gouvernement qui croient en un projet peuvent faire la différence.

Le "*landmark*" ESFRI n'a pas été attribué car cela requiert la présence de deux partenaires européens. Or MYRRHA est un projet mis en place en Belgique et les installations seront de même implantées dans notre pays; inclure des partenaires européens dans ce projet n'est ni évident ni aisé. Avant tout, il est essentiel que le potentiel pays partenaire s'intéresse à l'énergie nucléaire: sortir du nucléaire d'un côté et vouloir résoudre le problème des déchets nucléaires de l'autre serait quelque peu surréaliste. La nomination d'un ambassadeur par le gouvernement s'impose d'urgence. Les Pays-Bas ont immédiatement nommé un ambassadeur pour PALLAS, le successeur de l'ancien réacteur de Petten. La Suède est parvenue à installer à Lund son projet "*European Spallation Source*" (en abrégé: ESS) – un projet de 1,8 milliard d'euros – en désignant un ancien commissaire européen comme ambassadeur et en mettant à sa disposition une équipe de collaborateurs. La Suède finance le projet à hauteur de 35 %. La Belgique finance MYRRHA à 40 %... mais n'ose pas dire ouvertement qu'elle souhaite réaliser le projet en Belgique. Une solution est actuellement à l'étude pour obtenir le "*landmark*" ESFRI, en faisant entrer deux acteurs dans l'ASBL par le paiement d'une cotisation.

La mise à jour de l'étude de PwC sur l'impact socio-économique du projet MYRRHA est prévue pour la fin 2022. Le "*MYRRHA ad hoc Group*" (en abrégé: MAHG), qui assiste le gouvernement dans le suivi du projet MYRRHA, lui accordera le mandat pour ce faire.

La "*peer review*" internationale sera effectuée par l'OCDE, par l'intermédiaire de l'AEN, et est actuellement en cours de préparation. Il est prévu que le gouvernement envoie la demande à l'OCDE d'ici la fin de l'année, comme il l'avait fait précédemment en 2009 et 2010.

Quant à la question de l'impact de la taxonomie: le projet MYRRHA permet précisément de répondre aux

un ADS-démonstration-installation te bouwen. Maar al in 1993 zijn er testen gedaan met een versneller gekoppeld aan een sub-kritische reactor, eerst bij CERN, daarna in Spanje... Zolang het TRL-niveau tussen één en drie is, zijn de benodigde financiële middelen laag. Maar eens het TRL-niveau hoger wordt, worden de financiële vereisten zo hoog dat een laboratorium dat niet meer kan dragen. Daarom is er externe financiering nodig. Maar vaak is het zo dat enkel overheden met publiek geld dergelijke projecten ondersteunen. Eens het TRL-niveau zeven is, dan worden publiek-private partnerschappen mogelijk. Daarom stopt de ontwikkeling van vele technologieën met TRL-niveaus tussen drie en zeven. Een land en een regering die geloven in een project kunnen het verschil maken.

Het ESFRI "*landmark*" werd niet toegekend omdat hiervoor twee Europese partners nodig zijn. MYRRHA is een project dat in België wordt gedaan, de installaties komen in België. Het is niet evident of gemakkelijk Europese partners in dit project in te passen. En wat zeker nodig is, is een land dat zich interesseert in nucleaire energie. Het is toch wat surrealistisch om enerzijds nucleaire energie stop te zetten en anderzijds het probleem van het nucleaire afval te willen oplossen. Het aanstellen van een ambassadeur door de regering is dringend nodig. Nederland heeft voor PALLAS, de opvolger van de oude reactor in PETTEN, onmiddellijk een ambassadeur benoemd. Zweden is erin geslaagd het "*European Spallation Source*" project (afgekort: ESS), een project van 1,8 miljard euro, naar Lund gebracht, door een voormalige Europese commissaris als ambassadeur aan te stellen en een ploeg van medewerkers ter beschikking te stellen. Zweden betaalt 35 % van het project. België betaalt 40 % van MYRRHA ... maar durft niet openlijk te zeggen dat het het project in België wil doen. Er wordt op dit moment gewerkt aan een oplossing om de ESFRI "*landmark*" te bekomen, door twee actoren via het betalen van een vergoeding binnen te halen in de ivzw.

De actualisering van de PwC-studie over de sociaal-economische impact van het MYRRHA-project is gepland voor eind 2022. De "*MYRRHA ad hoc Group*" (afgekort: MAHG), die de regering bijstaat in de opvolging van het MYRRHA-project, zal het mandaat daarvoor geven.

De internationale "*peer review*" zal via de OESO worden gedaan, via het NEA, en wordt op dit moment voorbereid. Het is gepland dat de regering eind dit jaar de vraag zal sturen aan de OESO, analoog aan de vorige keer in 2009 en 2010.

Op de vraag over de invloed van de taxonomie kan worden geantwoord dat de echt kritische vragen die

questions réellement critiques posées sur l'énergie nucléaire et la problématique des déchets nucléaires. Les pays qui souhaitent continuer à recourir à l'énergie nucléaire ont tout intérêt à investir dans un projet tel que MYRRHA.

Aux questions relatives au retour sur investissement et à la baisse du coût des énergies renouvelables, il convient de répondre que MYRRHA est plutôt complémentaire à ces dernières. Ainsi, le métal liquide peut bouillir à 1 640 °C, ce qui peut être utilisé pour le stockage d'énergie solaire. Par ailleurs, l'instrumentation développée pour MYRRHA peut également s'avérer utile et être valorisée dans d'autres domaines. Par exemple, un spin-off pour la purification de l'eau, basé sur les développements en vue de la purification du métal liquide, est en train d'être mis en place.

La Belgique aurait tout intérêt à conserver la production de radio-isotopes, même après le BR2. La chaîne complète des applications médicales est disponible en Belgique; perdre la capacité de fabriquer des radio-isotopes innovants l'affaiblirait.

Le stockage géologique ne sera disponible qu'en 2070, voire peut-être pas avant 2100. Il reste donc 75 ans pour rendre MYRRHA fonctionnel à l'échelle industrielle pour le traitement du combustible usé; 91 % du combustible usé belge n'ont pas été vitrifiés et peuvent donc être traités par les méthodes étudiées dans MYRRHA.

Le stockage géologique reste effectivement une nécessité aujourd'hui. Les règles internationales de l'Agence internationale de l'énergie atomique (en abrégé: AIEA) exigent que certains déchets nucléaires soient enfouis en stockage géologique. Cette prescription se fonde toutefois sur une durée de conservation de 300 000 ans; un stockage géologique pourrait s'avérer superflu pour les déchets qui ne doivent être conservés que pendant 300 ans. L'AIEA devrait peut-être revoir ses règles en conséquence. À l'avenir, l'énergie nucléaire pourra aussi être envisagée d'un regard neuf. Dans le monde d'aujourd'hui, où l'énergie n'est plus aussi abondamment disponible qu'il y a quelques mois, l'énergie nucléaire pourrait encore avoir un rôle à jouer. L'U, le combustible nucléaire, n'est pas fourni que par le Kazakhstan, contrôlé par la Russie, mais aussi par d'autres pays comme le Canada et l'Australie. En outre, le retraitement du combustible usé actuellement stocké à Doel et à Tihange fournirait également du nouveau combustible. Ce retraitement n'a jamais eu lieu jusqu'à présent, parce qu'acheter du nouvel U était moins onéreux.

*M. Peter Baeten, directeur général adjoint du SCK CEN, répond à la question relative aux différents flux*

over kernenergie worden gesteld, over de problematiek van kernafval, juist kunnen worden beantwoord door het MYRRHA-project. Landen die willen verder werken met kernenergie kunnen best investeren in een project als MYRRHA.

Op de vragen over het rendement van de gedane investeringen en de dalende kostprijs van hernieuwbare energie, moet toch worden gezegd dat MYRRHA eerder complementair is met de hernieuwbare energie. Zo kan het vloeibare metaal koken op 1 640 °C, en dat kan worden gebruikt om zonne-energie te stockeren. Ook kan de instrumentatie die voor MYRRHA wordt ontwikkeld nuttig zijn en worden gevaloriseerd in andere domeinen. Er wordt op dit moment aan een spin-off gewerkt voor het zuiveren van water, gebaseerd op ontwikkelingen voor het zuiveren van het vloeibare metaal.

België zou er best voor zorgen de productie van radio-isotopen te behouden, ook na BR2. De volledige ketting van de medische toepassingen is beschikbaar in België. Het verliezen van de capaciteit om innovatieve radio-isotopen te maken, zou die ketting verzwakken.

De geologische berging komt pas in 2070 en misschien pas in 2100 beschikbaar. Er is dus 75 jaar tijd om MYRRHA industrieel beschikbaar te maken voor het verwerken van de gebruikte brandstof. 91 % van de Belgische gebruikte splijtstof werd niet verglaasd en kan dus met de methoden bestudeerd in MYRRHA worden behandeld.

Geologische berging blijft vandaag nodig. De internationale regels van het "International Atomic Energy Agency" (afgekort: IAEA) vereisen dat bepaald nucleair afval geologisch wordt geborgen. Maar dat is een voorschrift dat gebaseerd is op een bewaringstermijn van 300 000 jaar. Afval dat slechts 300 jaar moet worden bewaard moet misschien niet meer geologisch worden geborgen. Misschien moet het IAEA zijn regels hiervoor aanpassen. En kan er in de toekomst op een andere manier naar kernenergie worden gekeken. Er is in de wereld van vandaag, waar energie niet meer zo overvloedig beschikbaar is als enkele maanden geleden, misschien toch een rol voor kernenergie. U, de kernbrandstof, wordt niet alleen door het door Rusland gecontroleerde Kazakstan, maar ook door andere landen, zoals Canada en Australië, geleverd. En het heropwerken van de gebruikte brandstof die nu opgeslagen ligt in Doel en Tihange levert ook nieuwe nucleaire brandstof. Deze werd nooit heropgewerkt omdat het goedkoper was nieuw U te kopen.

*De heer Peter Baeten, adjunct-directeur-generaal van het SCK CEN, antwoordt op de vraag over*

financiers que ces fonds de 15 et 25 millions d'euros relevaient du "Recovery and Resilience Facility" (en abrégé: Fonds RRF), et n'étaient en rien liés au projet MYRRHA. Le combustible usé est une problématique internationale, qui doit être abordée au niveau international. Toutes les parties doivent y contribuer. Il est essentiel que le gouvernement belge témoigne de son soutien à ce projet et le représente également au niveau international. Ce n'est pas le SCK CEN qui peut faire la différence sur la scène internationale, mais bien l'ensemble du gouvernement qui doit le soutenir.

*M. Hamid Aït Abderrahim, directeur du projet MYRRHA, répond aux questions sur le MOX: il sera assurément possible de le traiter dans la version 3. Dans les réacteurs actuels, de grandes quantités d'actinides mineurs sont produites à l'utilisation de MOX. Certains pays envisagent actuellement un multirecyclage de Pu dans les réacteurs actuels, ce qui ne fera qu'aggraver les choses: la quantité d'actinides mineurs augmenterait d'autant. La seule solution sérieuse consiste à traiter le combustible usé dans un système sous-critique.*

### C. Répliques

*Mme Marie-Christine Marghem (MR) souhaite rencontrer de nouveau les représentants du SCK CEN à la fin de cette année ou au début de l'année prochaine afin d'obtenir des informations sur l'évaluation demandée.*

*M. Bert Wollants, président, propose aux représentants du SCK CEN d'ajouter à cette occasion d'autres informations et de les présenter conjointement au début de l'année prochaine.*

*La rapporteure,*

Marianne VERHAERT

*Le président,*

Bert WOLLANTS

de verschillende financiële stromen dat de genoemde 15 en 25 miljoen euro "Recovery and Resilience Facility" fondsen (afgekort: RRF-fondsen) waren, die niets te maken hadden met het MYRRHA-dossier. De problematiek van de gebruikte brandstof is een internationale problematiek die internationaal moet worden aangepakt. Alle partijen moeten daartoe bijdragen. Het is heel belangrijk dat de Belgische regering zijn steun zou betuigen aan dit project, en het ook internationaal zal vertegenwoordigen. Het is niet het SCK CEN dat op de internationale scène het verschil kan maken, maar de volledige regering die zich hierachter moet zetten.

*De heer Hamid Aït Abderrahim, directeur MYRRHA-project, antwoordt op de vragen over MOX dat dit zeker zal kunnen worden behandeld in versie 3. Bij het gebruik van MOX in de huidige reactoren worden grote hoeveelheden mineure actiniden geproduceerd. Er zijn landen die vandaag aan multi-recyclage van Pu in de huidige reactoren denken, wat de zaak alleen nog maar gaat verergeren. De hoeveelheid mineure actiniden wordt er alleen maar groter door. De enige serieuze oplossing is het behandelen van de gebruikte brandstof in een sub-kritisch systeem.*

### C. Replieken

*Mevrouw Marie-Christine Marghem (MR) vraagt om eind dit jaar of begin volgend jaar de vertegenwoordigers van het SCK CEN opnieuw te zien, om informatie te krijgen over de gevraagde evaluatie.*

*De heer Bert Wollants, voorzitter, stelt aan de vertegenwoordigers van het SCK CEN voor om dit te combineren met andere informatie en dit samen, begin volgend jaar, kan worden voorgesteld.*

*De rapportrice,*

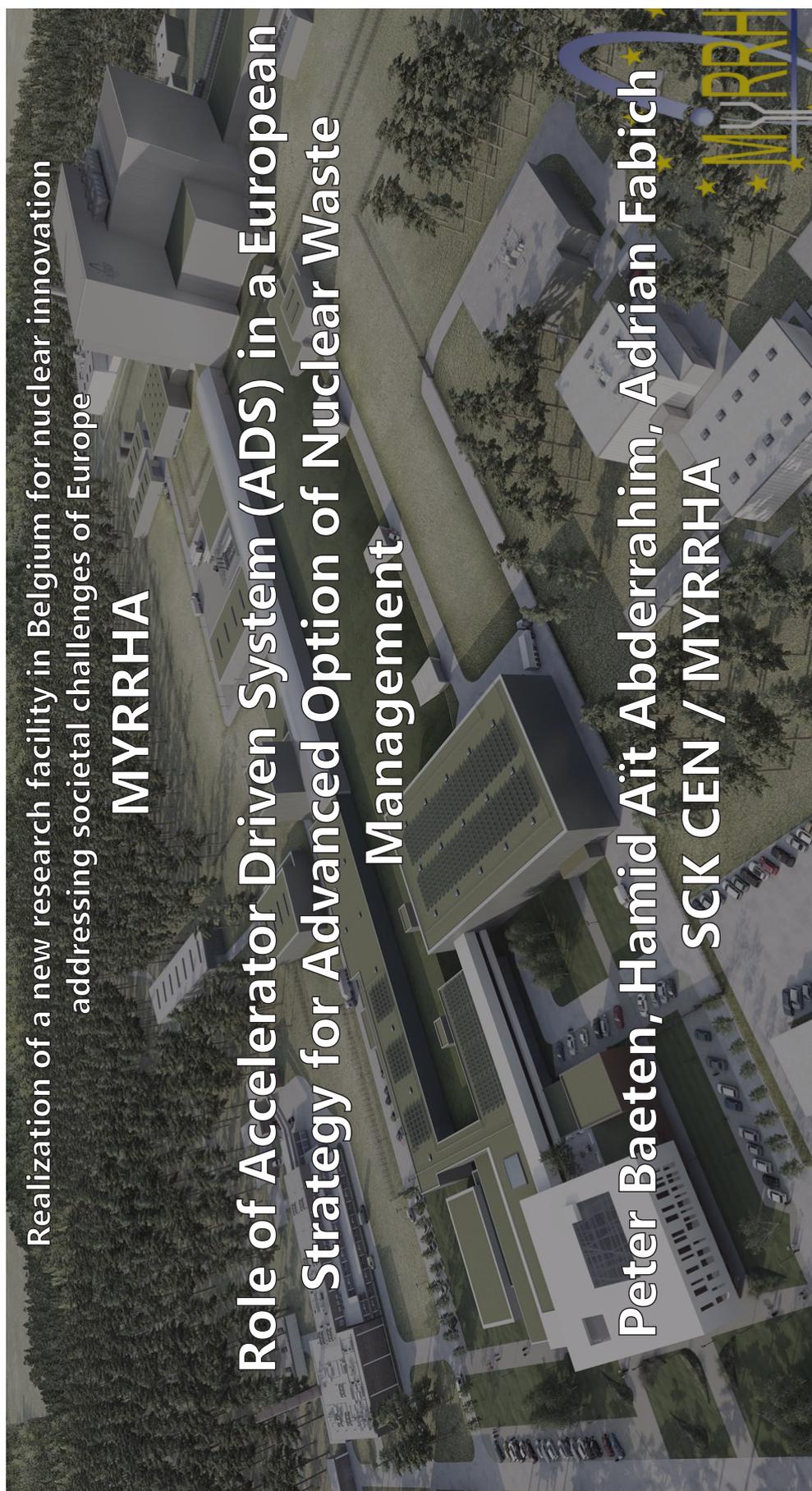
Marianne VERHAERT

*De voorzitter,*

Bert WOLLANTS

III. — ANNEXE

III. — BIJLAGE



Realization of a new research facility in Belgium for nuclear innovation  
addressing societal challenges of Europe

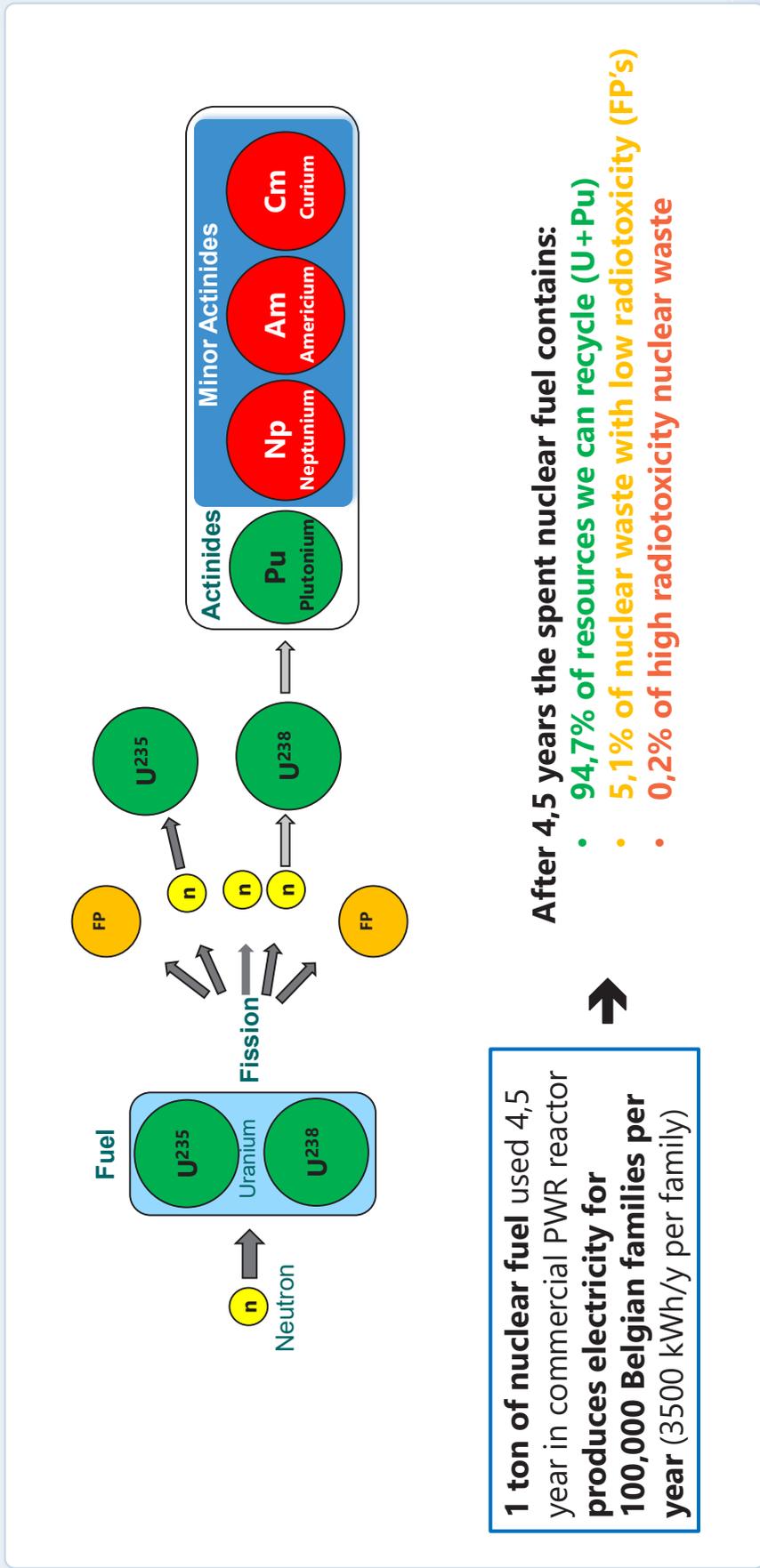
**MYRRHA**

# Role of Accelerator Driven System (ADS) in a European Strategy for Advanced Option of Nuclear Waste Management

**Peter Baeten, Hamid Aït Abderrahim, Adrian Fabich  
SCK CEN / MYRRHA**

**Belgian Federal Parliament - Hearing by Nuclear Safety Subcommittee:  
"MYRRHA Project", 19 April 2022**

# Fission generates high level radioactive waste



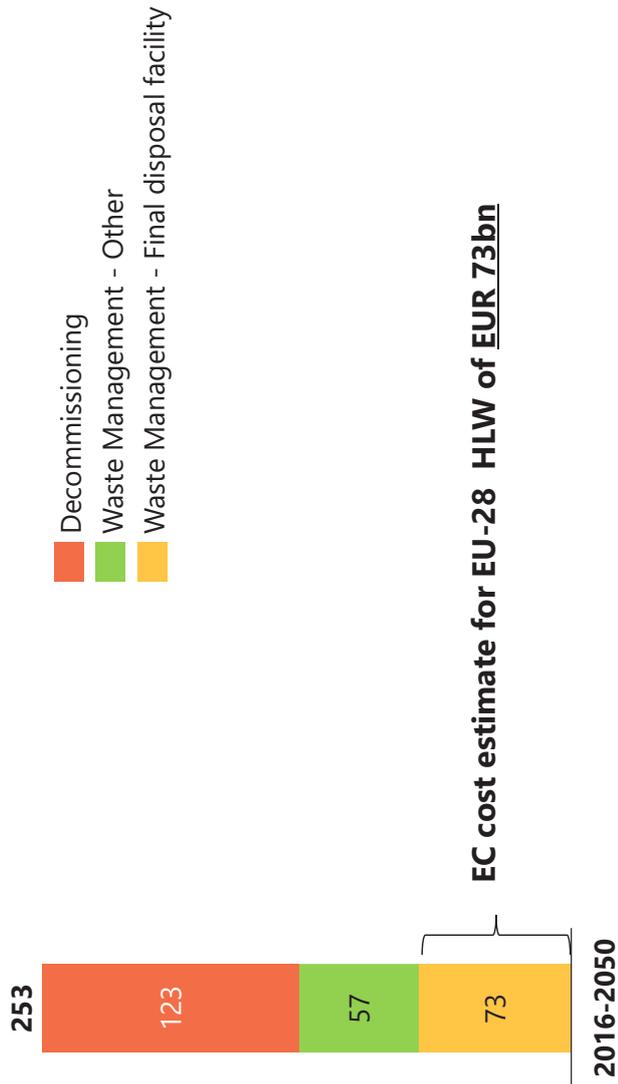
Source: SCK-CEN MYRRHA Project Team

SCK-CEN/48810542  
ISC: Restricted

2  
Copyright © 2021 SCK-CEN

# EC (PINC 2016) estimates HLW / spent nuclear fuel provisions (current technology) at EUR 73bn for EU-28 alone

European Commission 2016 PINC nuclear back-end cost projections (2016-2050) EUR bn\*



EC cost estimate for EU-28 HLW of **EUR 73bn**

2016-2050

Source: Communication from the Commission for a Nuclear Illustrative Programme (PINC 2016), Accompanying document SWD(2016) 102 final published on April 4th 2016  
\*Financials in EUR<sub>2015</sub>

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

3  
Copyright © 2021 SCK CEN

# Partitioning & Transmutation

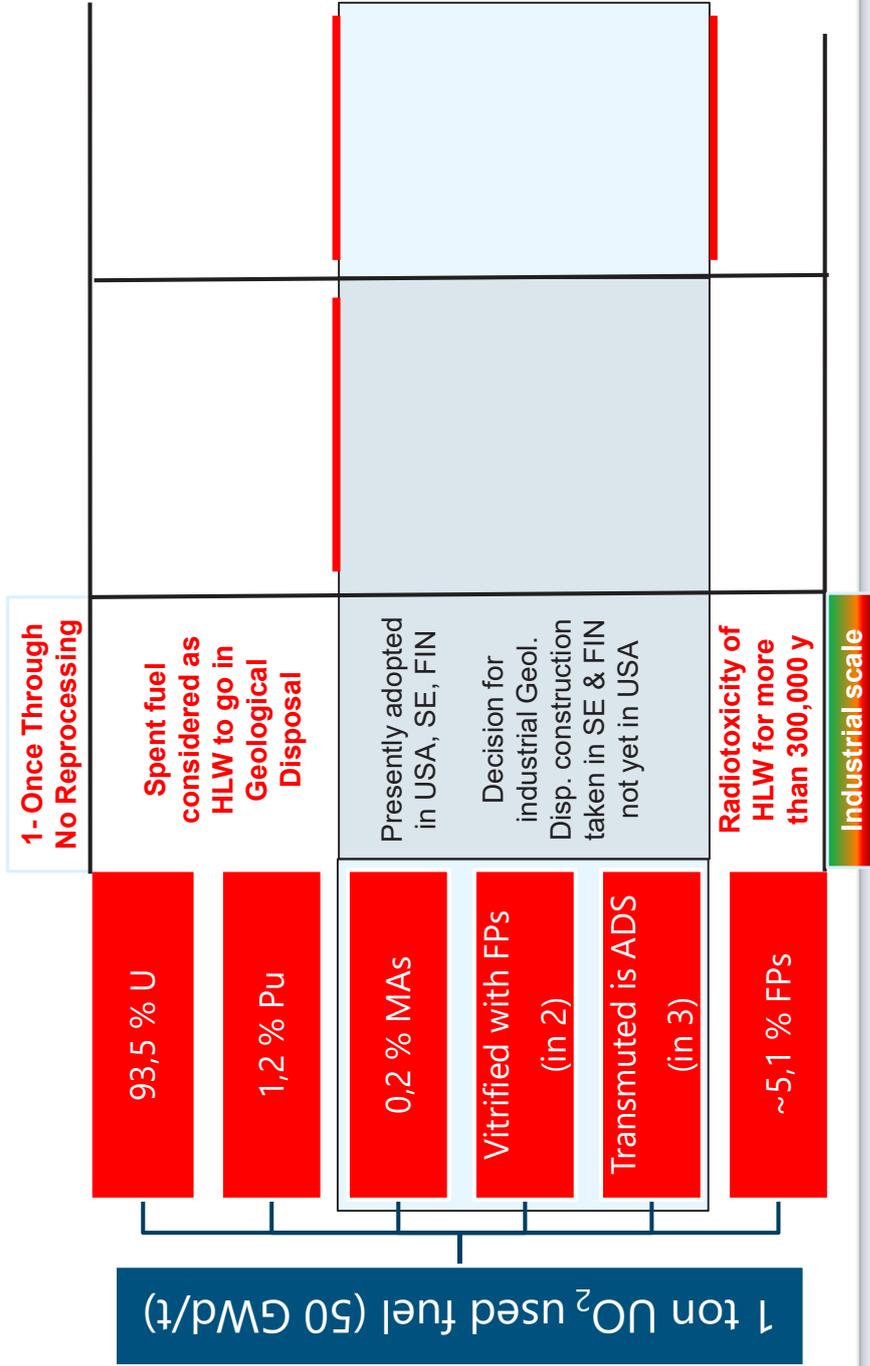


VS



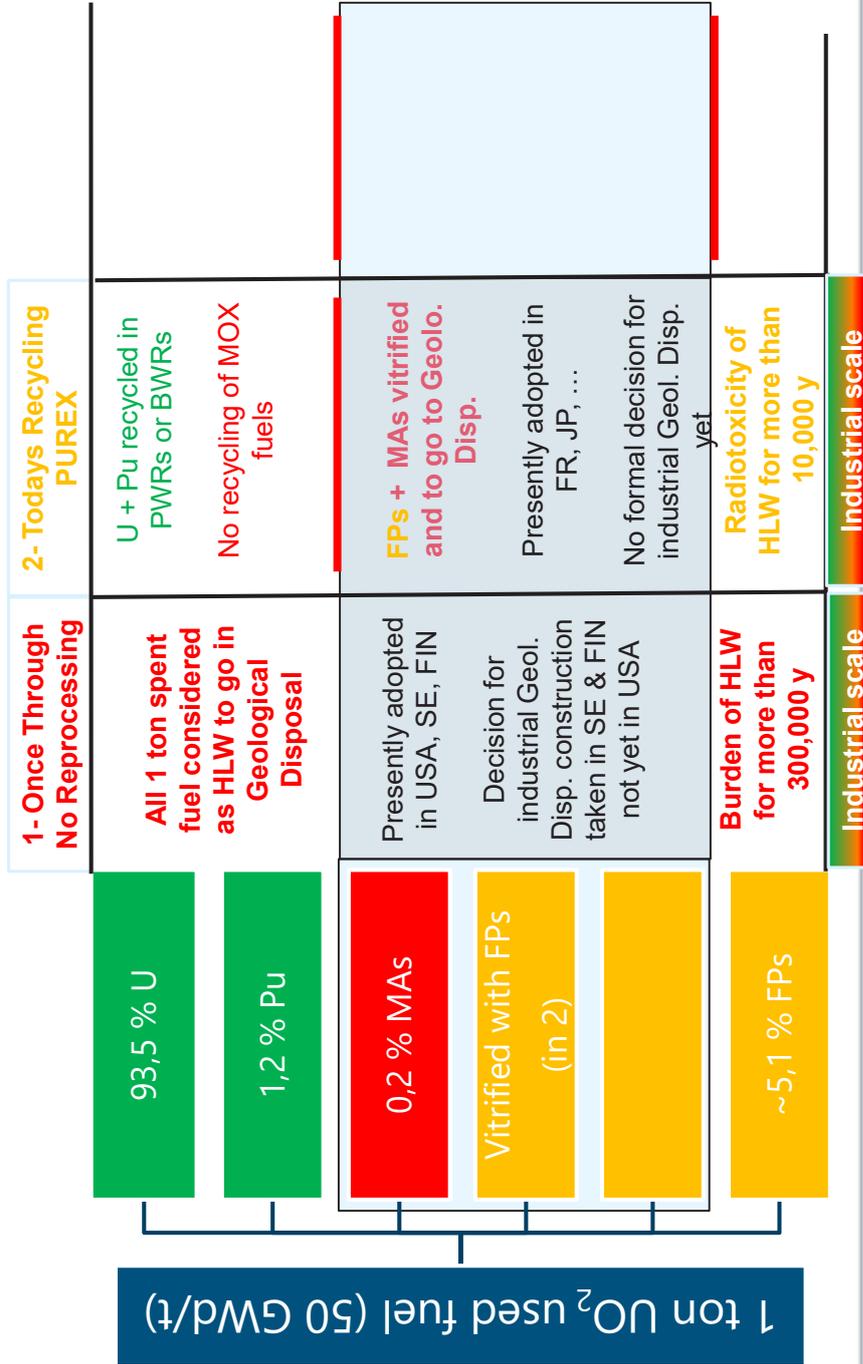
- Just like for classical household waste we need sorting and then valorization through recycling
- **Partitioning**
  - Separate the ingredients of the spent fuel in “similar” categories we can treat in a similar way
- **Transmutation**
  - Use intense neutron field to transmute isotopes into others, less “nasty” and producing energy (circular economy)

# Possible Fuel Cycles for High Level Waste treatment



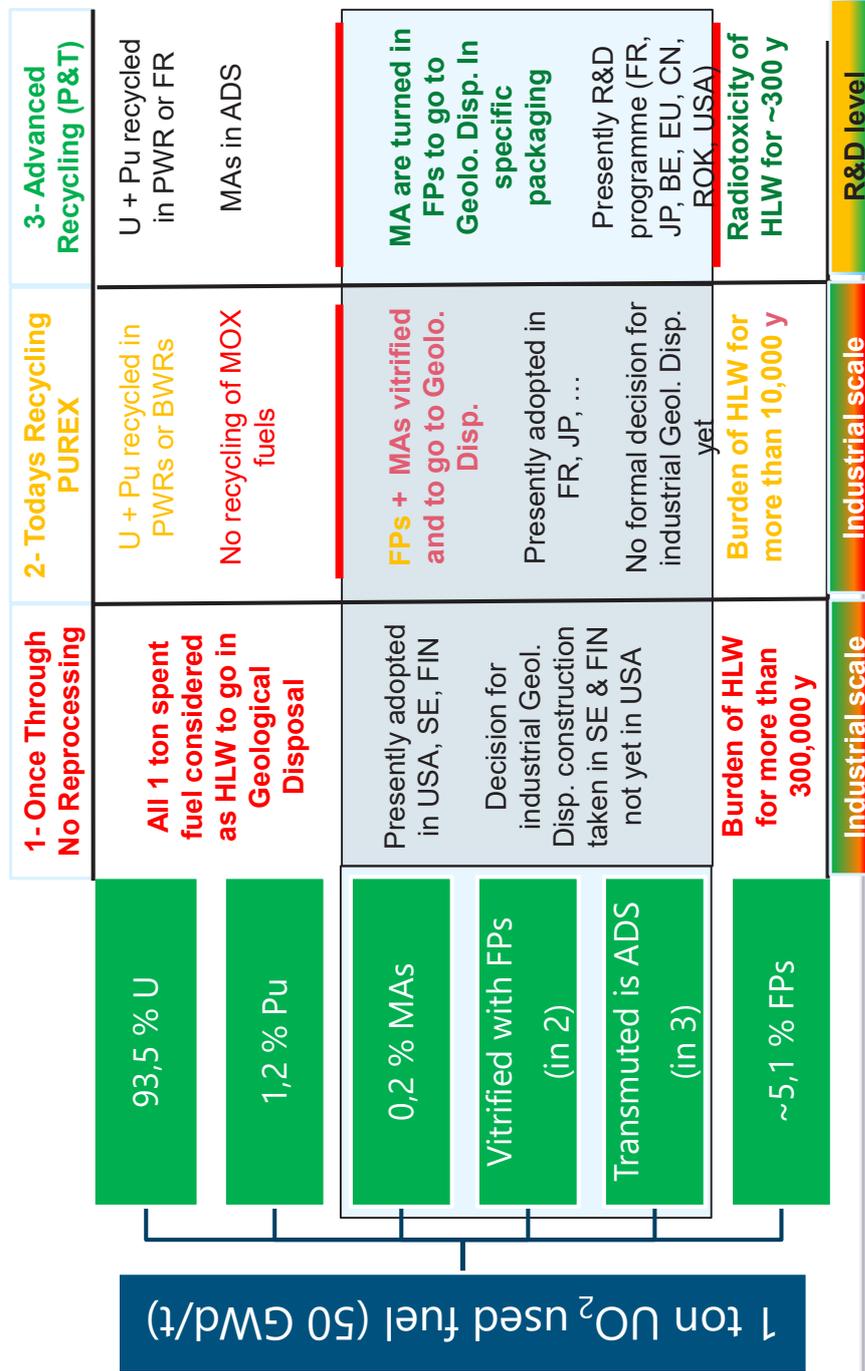
Copyright © 2016  
SCK-CEN

# Possible Fuel Cycles for High Level Waste treatment

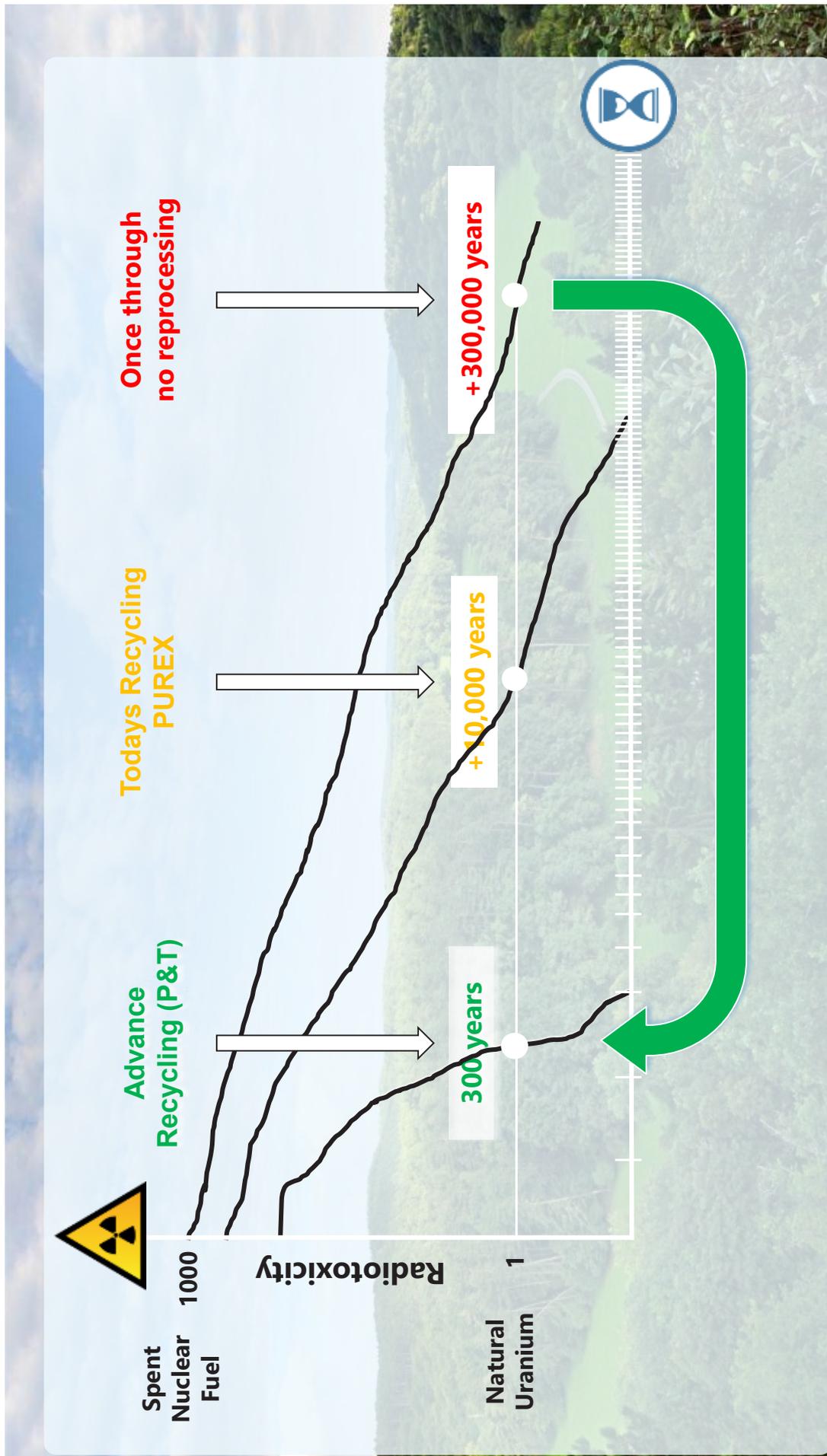


Copyright © 2016  
SCK-CEN

# Possible Fuel Cycles for High Level Waste treatment



Copyright © 2016  
SCK-CEN

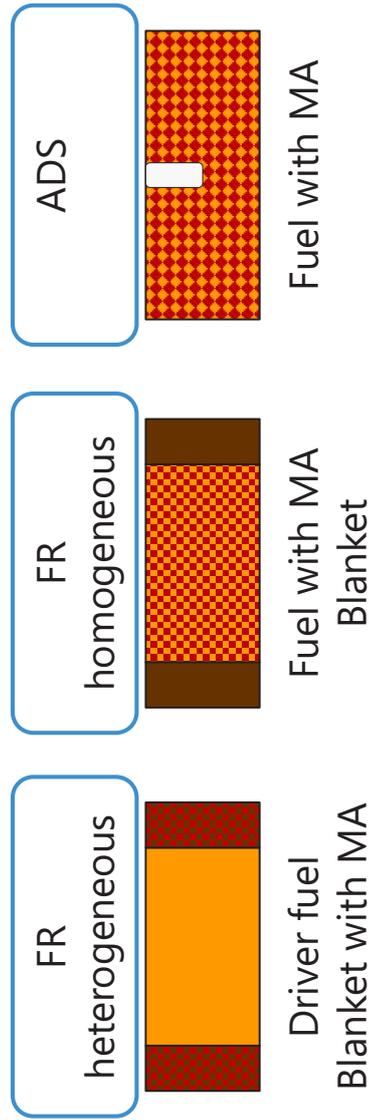


## Technology Readiness Level (TRL)

1. **Advanced partitioning** = "sorting of the waste" beyond classical PUREX  
TRL = 7 ~ 8
2. **Fabrication of dedicated transmutation fuel** (loaded with Minor Actinides)  
TRL = 3 ~ 4
3. **Pre-Industrial sized transmuter demonstration (MYRRHA)**  
TRL (FR = 9, ADS = 4 ~ 5)
4. **Advanced reprocessing of transmuter fuel** ( $\neq$  from 1, Pyroprocessing as the most promising)  
TRL = 3

TRL 1 = basic principle observed, TRL 9 = "flight proven"

## Three options for Minor Actinide (MA) transmutation



Core safety parameters limit the amount of MA that can be loaded in the critical core for transmutation, leading to transmutation rates of:

- FR = 2 to 4 kg/TWh

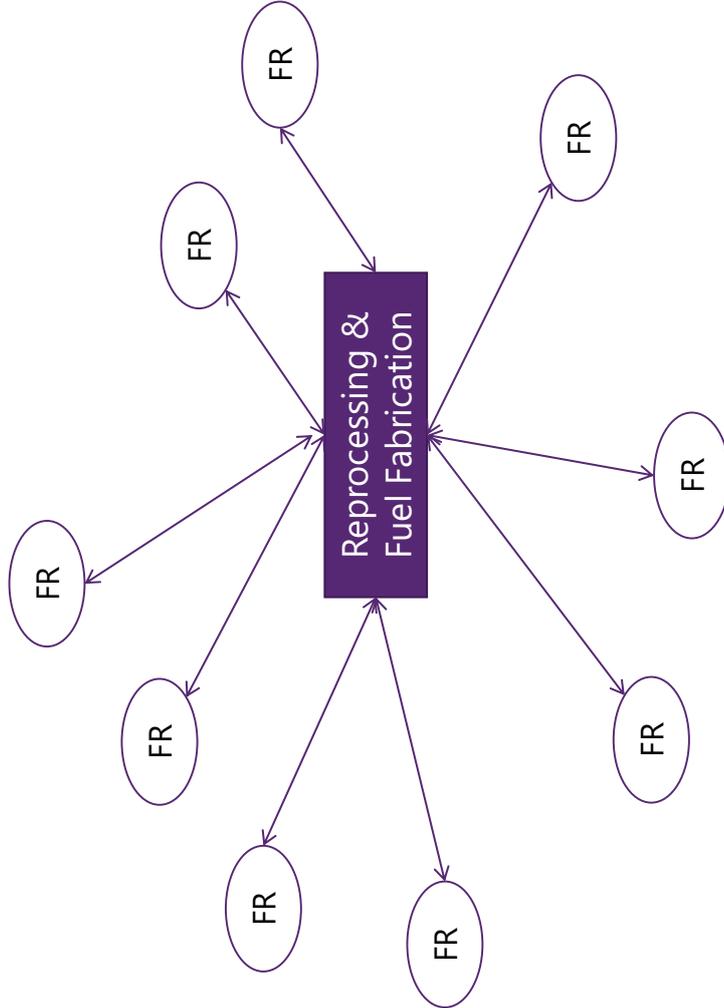
• **ADS = 35 kg/TWh (based on a 400 MW<sub>th</sub> EFIT design)**

→ **ADS performs the best**

# Transport issues of MA-Fuels FR vs ADS

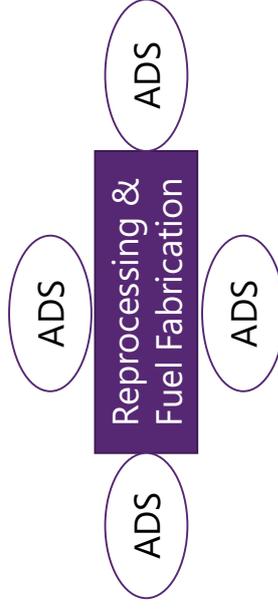
## Transmutation in Fast Reactors

- Large number of FRs needed
- Many transport of MA-Fuels on the roads



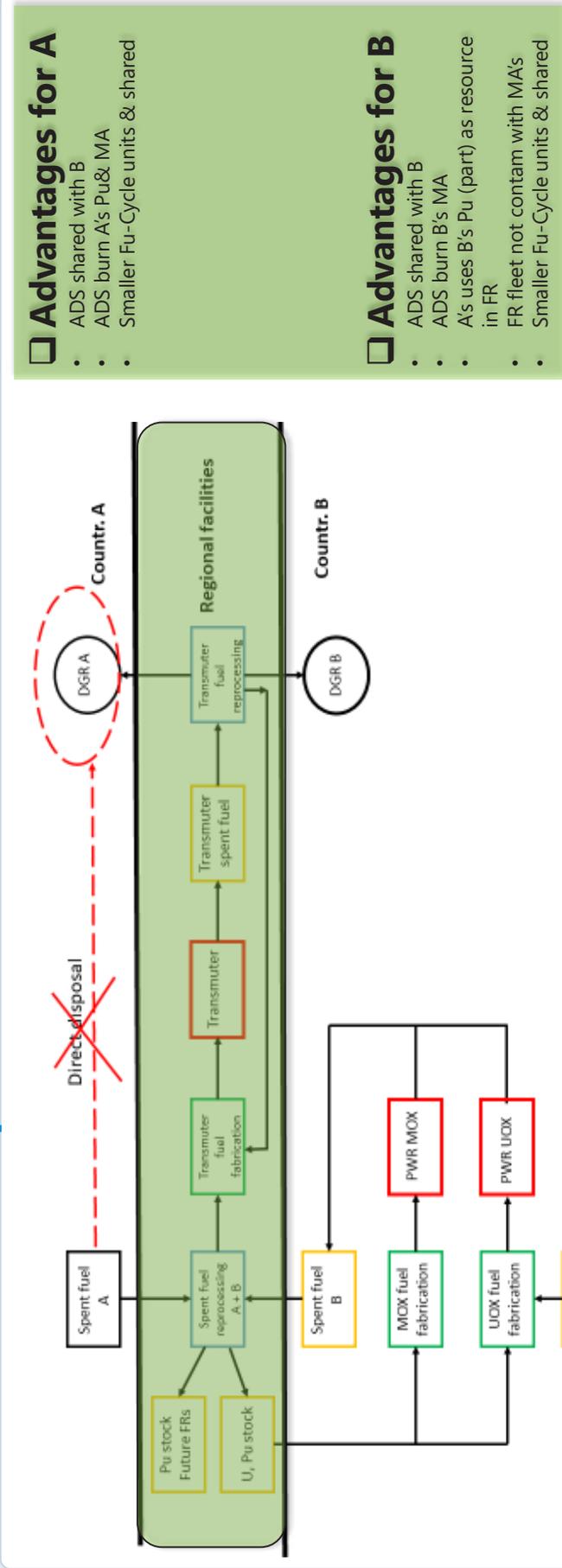
## Transmutation in ADS

- Small units in small number → Single site
- Few or no transport of MA Fuel on the roads



no or limited "on-the-road" transport

# Even with completely different national NE policies European solution for HLW works with ADS

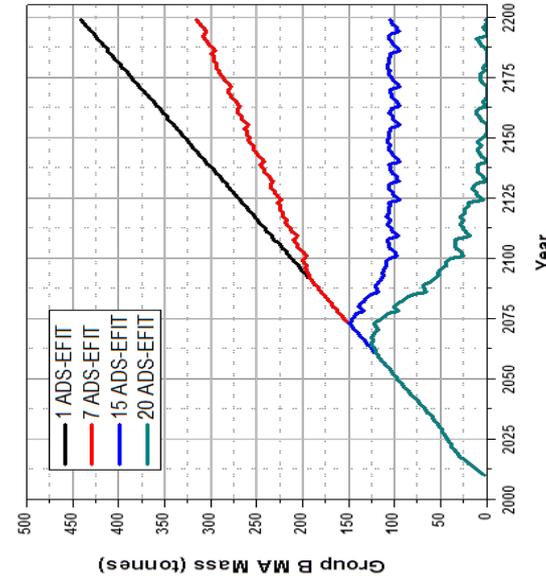
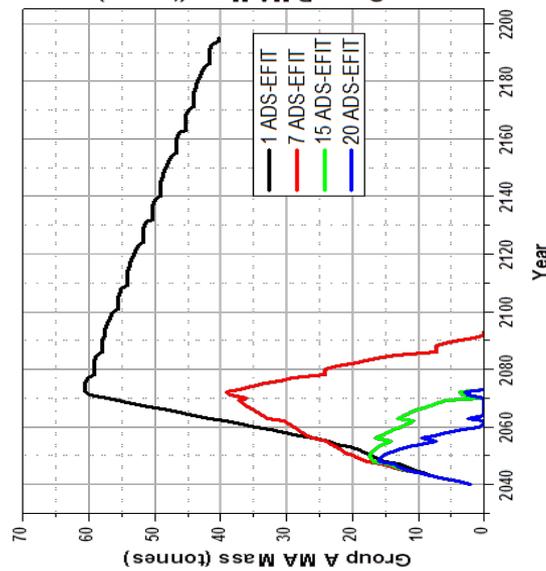


SCK CEN/4881/0542  
ISC: Restricted

12  
Copyright © 2021 SCK CEN

## Shared & efficient solution for Minor Actinides management EU case with 144 power reactors using EFIT 400 MWth

- **Europe believes in a regional approach** (see PATEROS, ARCAS)
- **Countries with different nuclear energy policies to collaborate together**
  - Countries willing to continue Nuclear Energy
  - Countries willing to develop fast reactor systems
  - Countries in nuclear phase out, interested in Partitioning & Transmutation (P&T)



**15 EFIT \* 400 MWth = 6000 MWth**  
**For all EU HLW treatment**

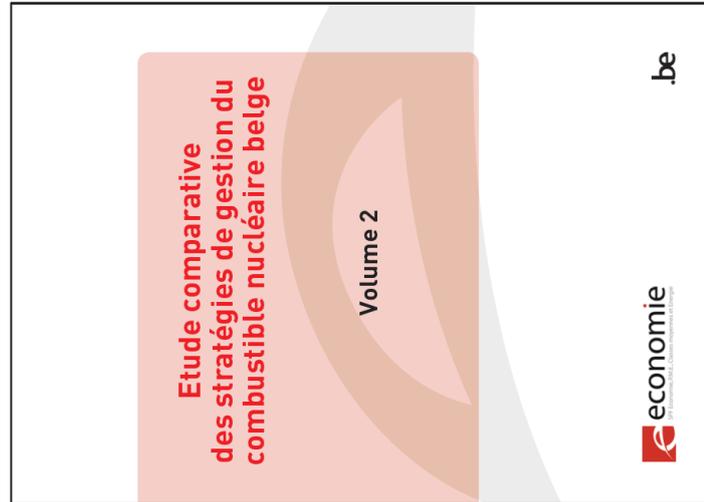
Doel (BE) = 9000 MWth  
 Tihange (BE) = 9000 MWth

Source: [TBD]

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

13  
Copyright © 2021 SCK CEN

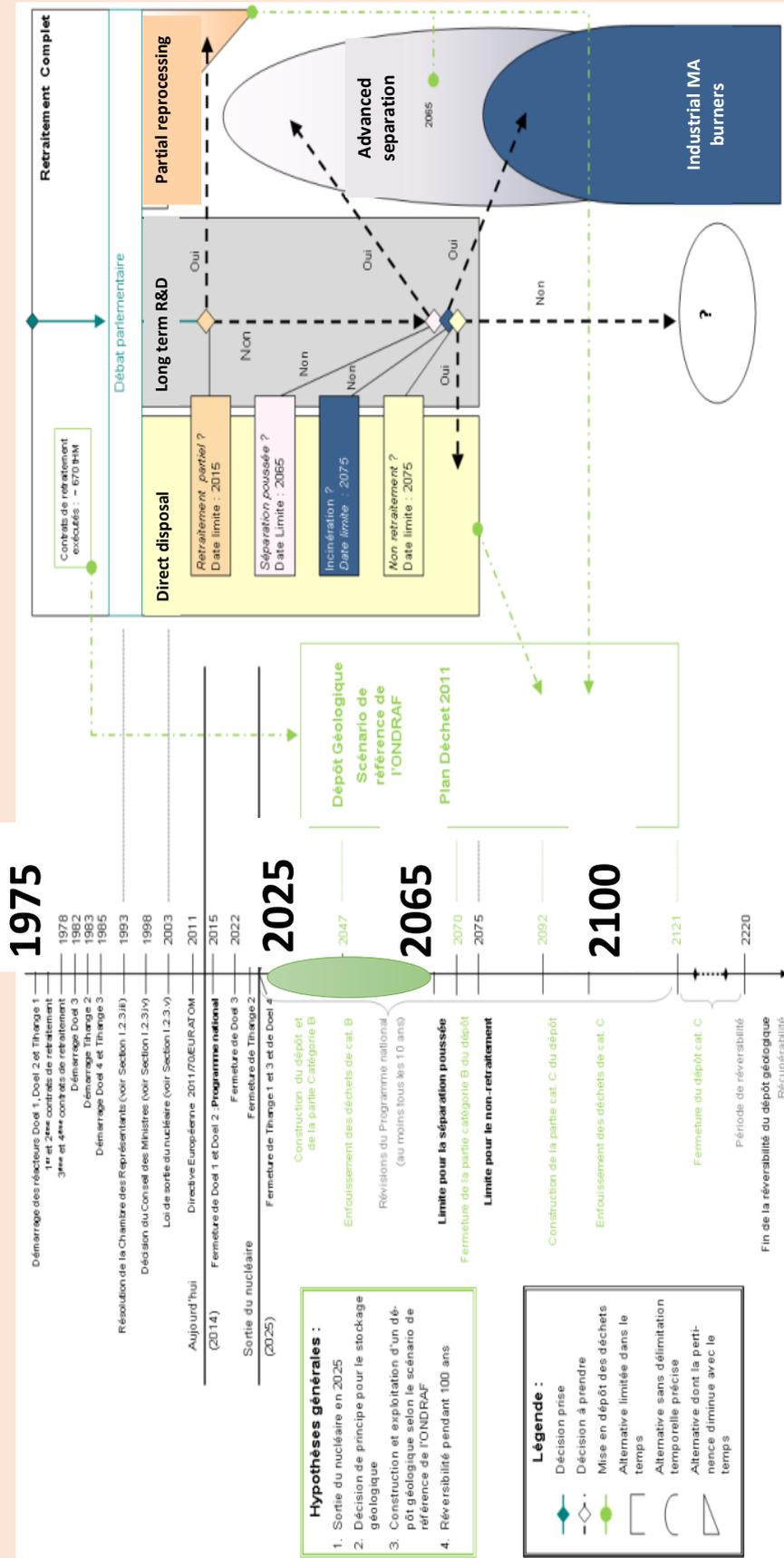
# Belgium is investing in MYRRHA that contributes to its prospective studies for spent fuel & HLW management



SCK CEN/4881/0542  
ISC: Restricted

14  
Copyright © 2021 SCK CEN

# 2017: Prospective study on the strategies for the management of Belgian nuclear spent fuel → Time window for new R&D 2025-2065



<https://economie.fgov.be/fr/publications/etude-combustible-nucleaire>

## Why (P&C) P&T: for Belgian Spent Nuclear Fuel

- **Spent fuel inventory and management options**

- Spent fuel inventory in 2035

	tHM	# assemblies
UOX	4643	10894
MOX	66	144

- **Spent Fuel management options**

- Direct disposal in a Geological Disposal Facility
- Reprocessing (PUREX)
- Reprocessing : Advanced Partitioning for **P&C (Sr&Cs)** and P&T

## Belgian geological repository: impact on gallery length (km)

	No further reprocessing	Full reprocessing	MA+FP P&T case
fuel cycle dependent	Disposal gallery length (km)	Disposal gallery length (km)	Disposal gallery length (km)
UOX spent fuel	15.43	-	-
MOX spent fuel	0.79	-	-
V-HLW future	-	6.39	1.23
Total C waste	16.22	6.39	1.23
CSD-C future	-	1.40	2.07
Total B&C waste	16.22	7.79	3.30
<b>relative</b>	<b>1.00</b>	<b>0.48</b>	<b>0.20</b>

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

17  
Copyright © 2021 SCK CEN

## Belgian geological repository: impact on footprint (km<sup>2</sup>)

	No further reprocessing	Full reprocessing	MA+FP P&T case
fuel cycle dependent	footprint (km <sup>2</sup> )	footprint (km <sup>2</sup> )	footprint (km <sup>2</sup> )
UOX spent fuel	1.85	-	-
MOX spent fuel	0.10	-	-
V-HLW future	-	0.32	0.06
Total C waste	1.95	0.32	0.06
CSD-C future	-	0.07	0.10
Total B&C waste	1.95	0.39	0.17
<b>relative</b>	<b>1.00</b>	<b>0.20</b>	<b>0.08</b>

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

18  
Copyright © 2021 SCK CEN



## Dedicated Task Force at the OECD/NEA Nuclear Science Committee

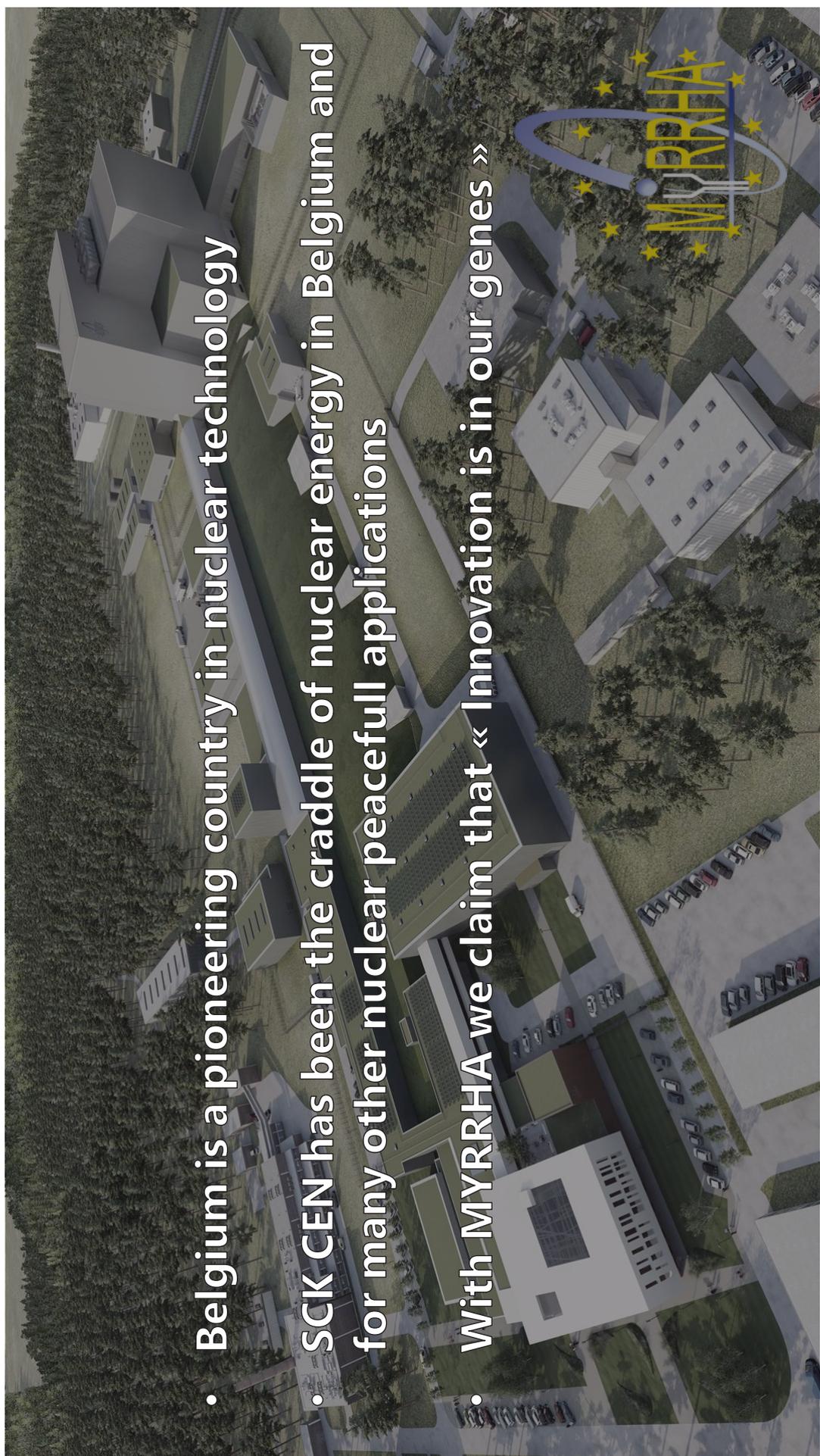
- NI2050 initiative launched in 2015 by the **OECD/NEA: "Demonstration of Fuel Cycle Closure Including Partitioning and Transmutation (P&T) Towards Industrialization by 2050 (TF-FCPT)"**
- A dedicated Task Force has been given in 2021 a mandate for issuing the "High level report" meant for governmental authorities and decision makers for **launching large scale demonstration programmes** for enhancing the TRL within the building blocks for P&T
- **The report of the Task Force is expected for mid to end -2022**
- Experts gathered in the TF are acting beyond the national policies of the countries and international organisations represented in the task force namely : **BE, EU/JRC, FR, JP, RU, UK and USA**

Source:

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

19  
Copyright © 2021 SCK CEN

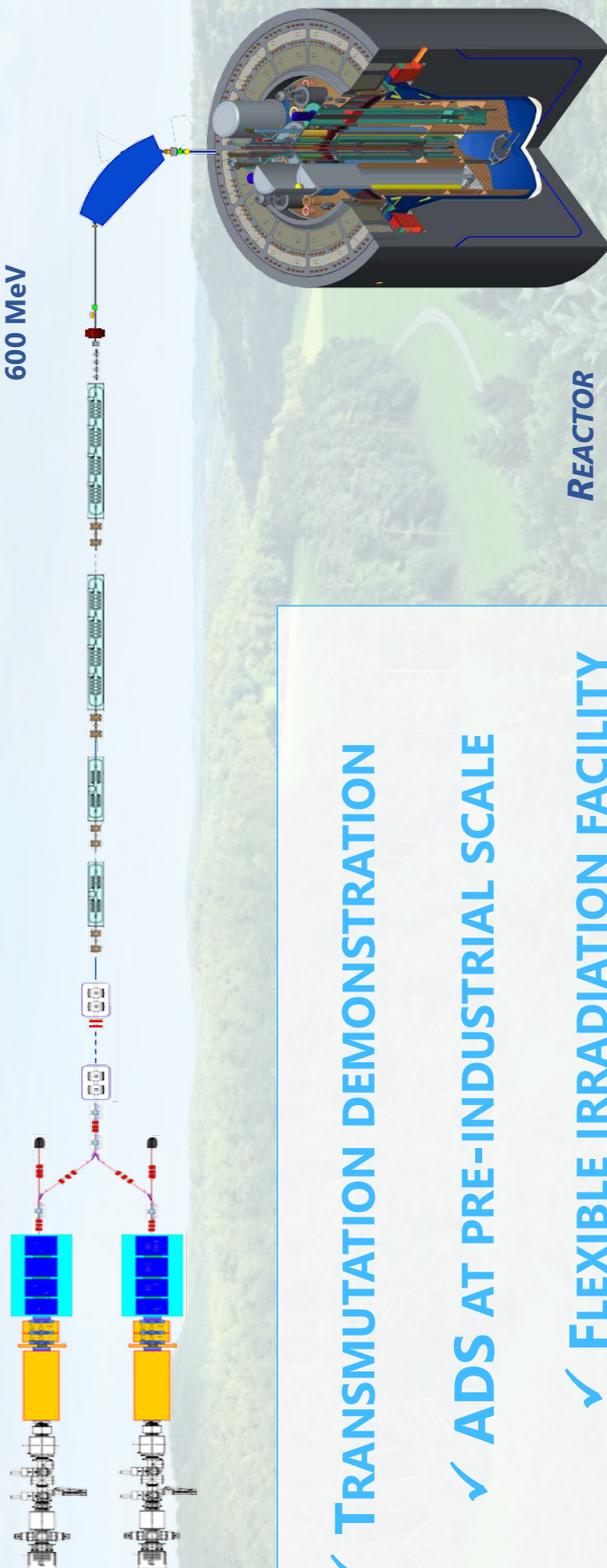
- Belgium is a pioneering country in nuclear technology
- SCK CEN has been the cradle of nuclear energy in Belgium and for many other nuclear peaceful applications
- With MYRRHA we claim that « Innovation is in our genes »



# MYRRHA: ACCELERATOR DRIVEN SYSTEM

LINEAR ACCELERATOR

600 MeV



REACTOR  
SUB-CRITICAL  
LEAD-BISMUTH COOLED

- ✓ TRANSMUTATION DEMONSTRATION
- ✓ ADS AT PRE-INDUSTRIAL SCALE
- ✓ FLEXIBLE IRRADIATION FACILITY

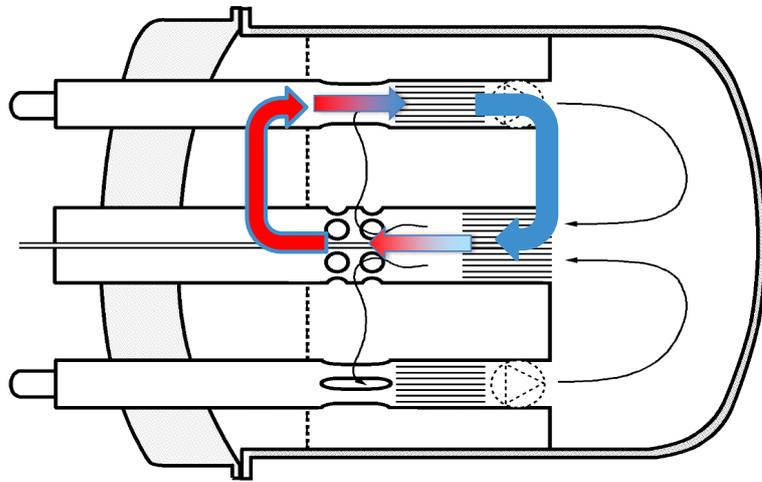
# MYRRHA ADS : intrinsic safety for criticality



SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

22  
Copyright © 2021 SCK CEN

## MYRRHA ADS : passive safety for decay heat removal



- No need for any active system (no electricity)
- Based on natural circulation of the coolant by gravity between the cold Heat Exchanger (HX) and the hot core
- Implemented in the MYRRHA experimental reactor
- Proven experimentally at appropriate scale at SCK CEN

→ **MYRRHA is inherently safe!**

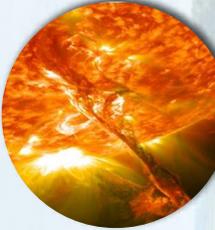
# MYRRHA's Application Portfolio



**Radio-isotopes**



**SNF\*/ Waste**



**Fusion**



**Fundamental research**



**Multipurpose  
hYbrid  
Research  
Reactor for  
High-tech  
Applications**



**Support to  
SMR LFR**

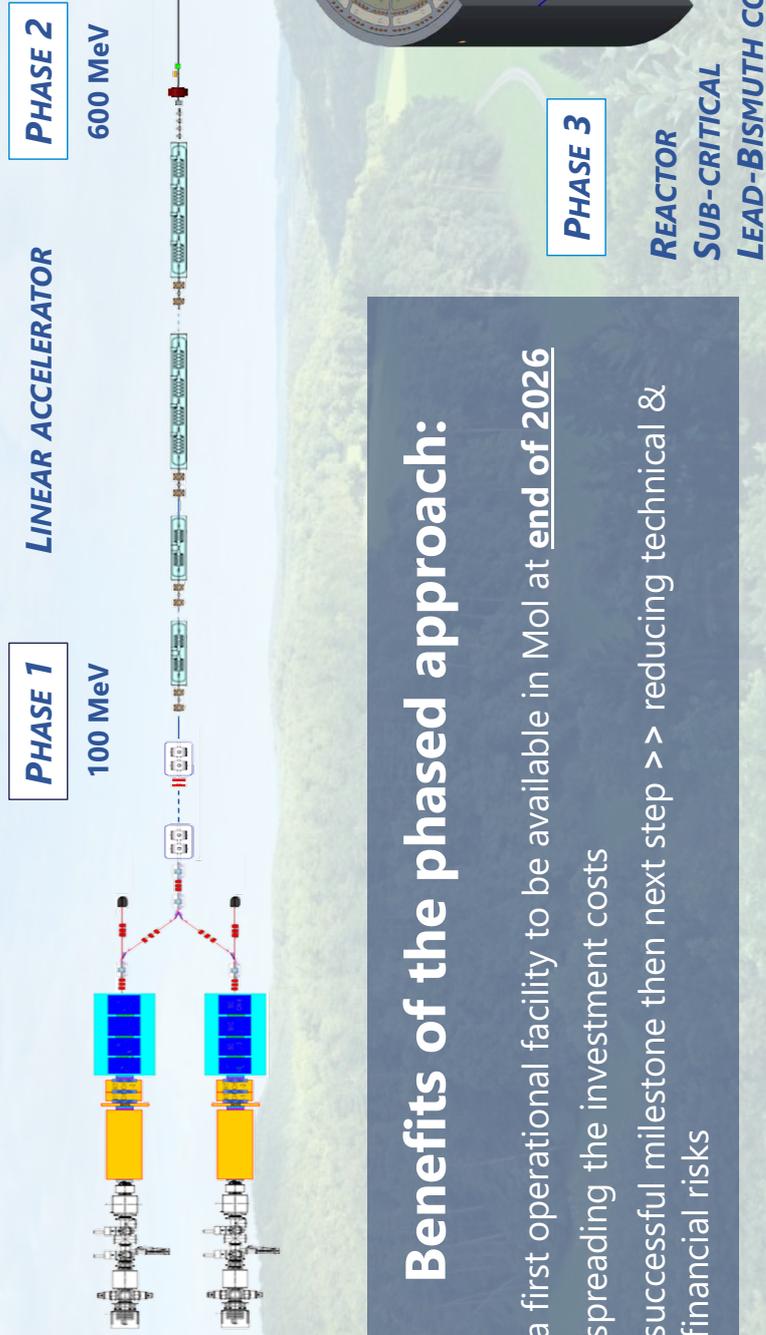


**Mat.& Fuel  
GEN IV**



**\*SNF = Spent Nuclear Fuel**

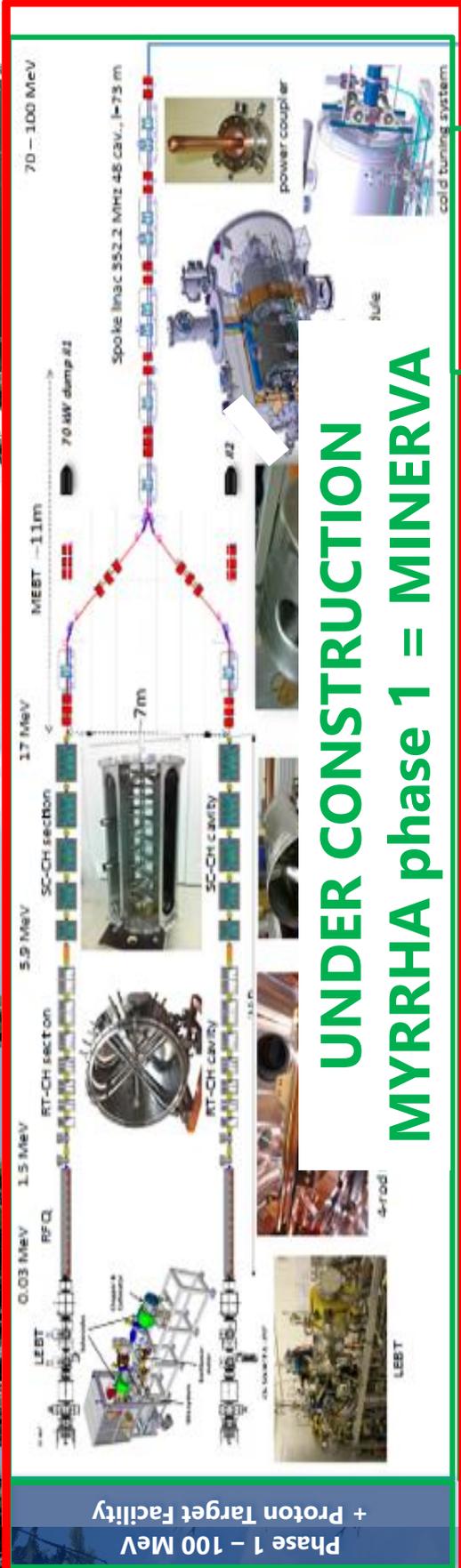
# MYRRHA: ACCELERATOR DRIVEN SYSTEM PHASED IMPLEMENTATION APPROACH



**Benefits of the phased approach:**

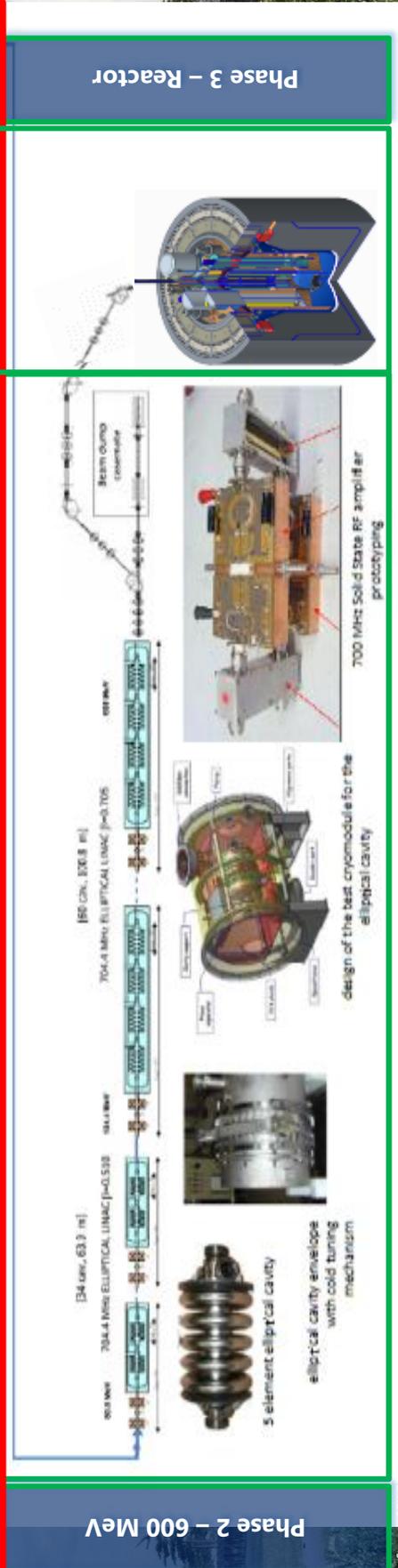
- a first operational facility to be available in Mol at end of 2026
- spreading the investment costs
- successful milestone then next step > > reducing technical & financial risks

# MYRRHA'S PHASED IMPLEMENTATION STRATEGY



Phase 1 – 100 MeV + Proton Target Facility

## UNDER CONSTRUCTION MYRRHA phase 1 = MINERVA



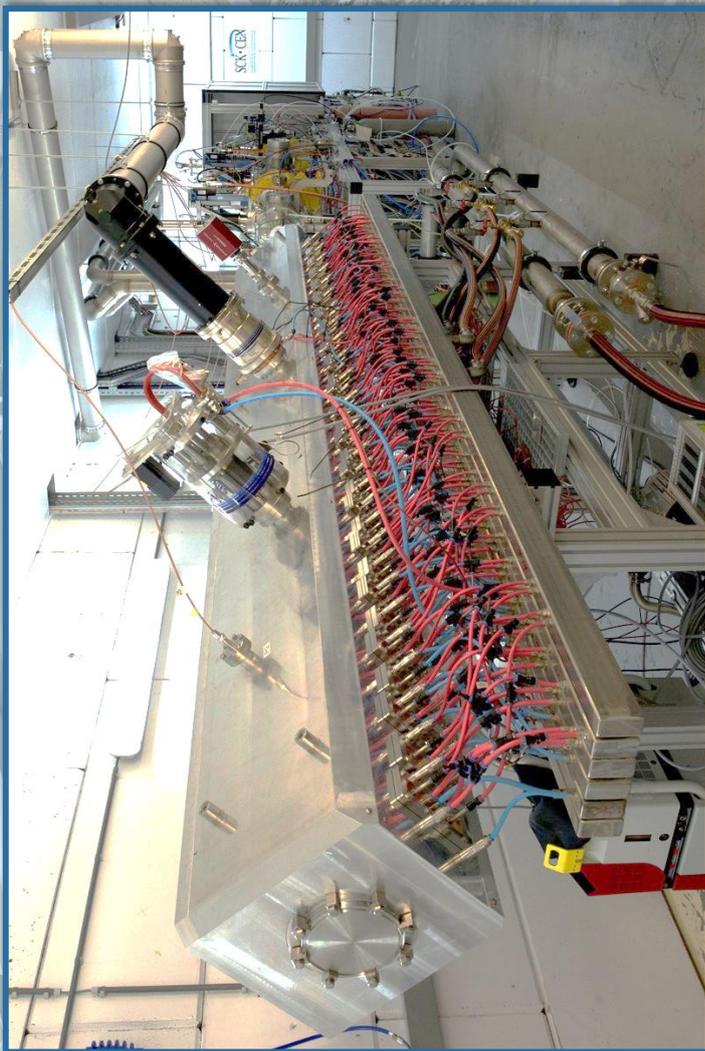
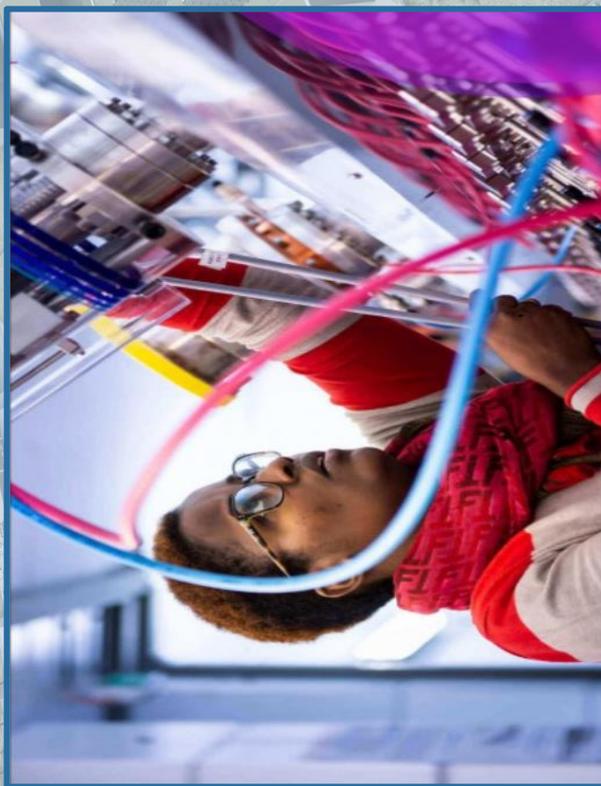
Phase 2 – 600 MeV

Source

# The MYRRHA accelerator taking shape

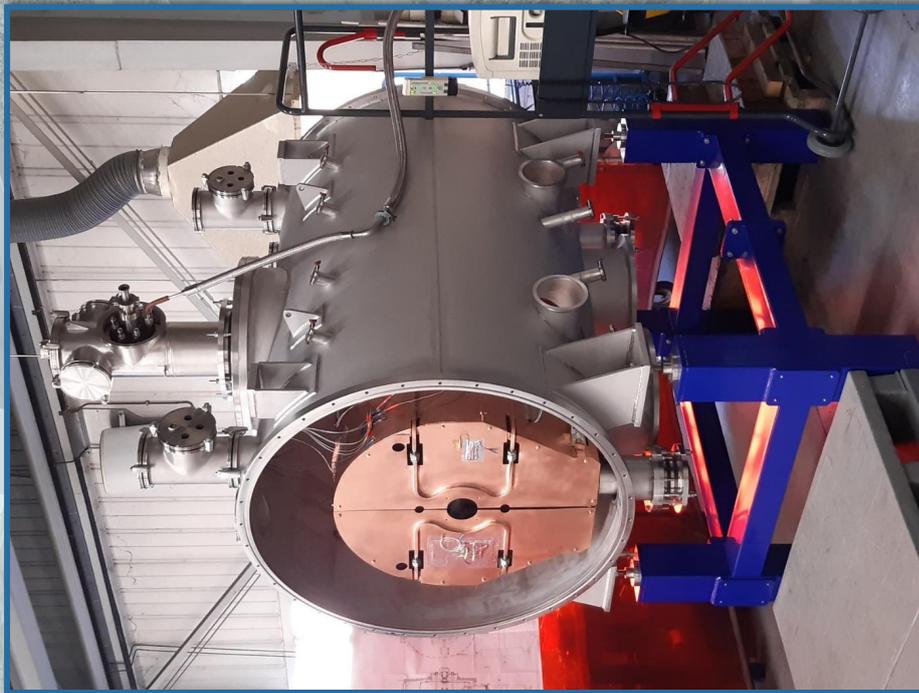
SCK CEN in Louvain-la-Neuve

**First MYRRHA protons accelerated successfully**  
★ 30 June 2020



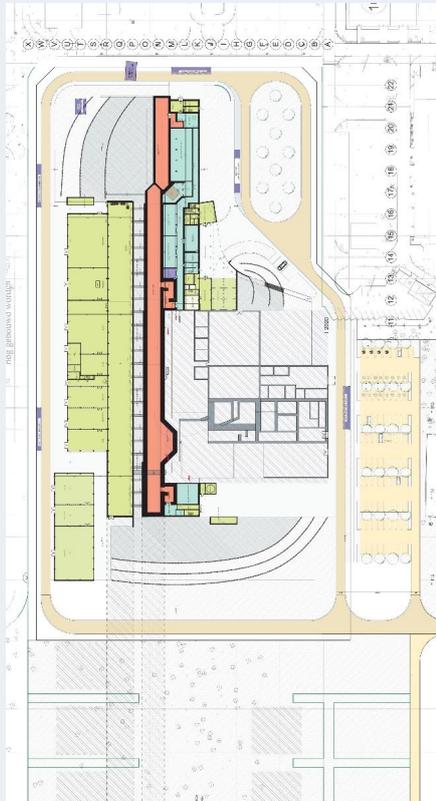
# The cryomodule prototype of MYRRHA ready for testing

**Superconductivity and French prototype: a crucial milestone coming up for MYRRHA** ☆ 27 November 2020



# MINERVA implementation by 2026

- Overall architecture frozen, main internal floor plan decisions taken

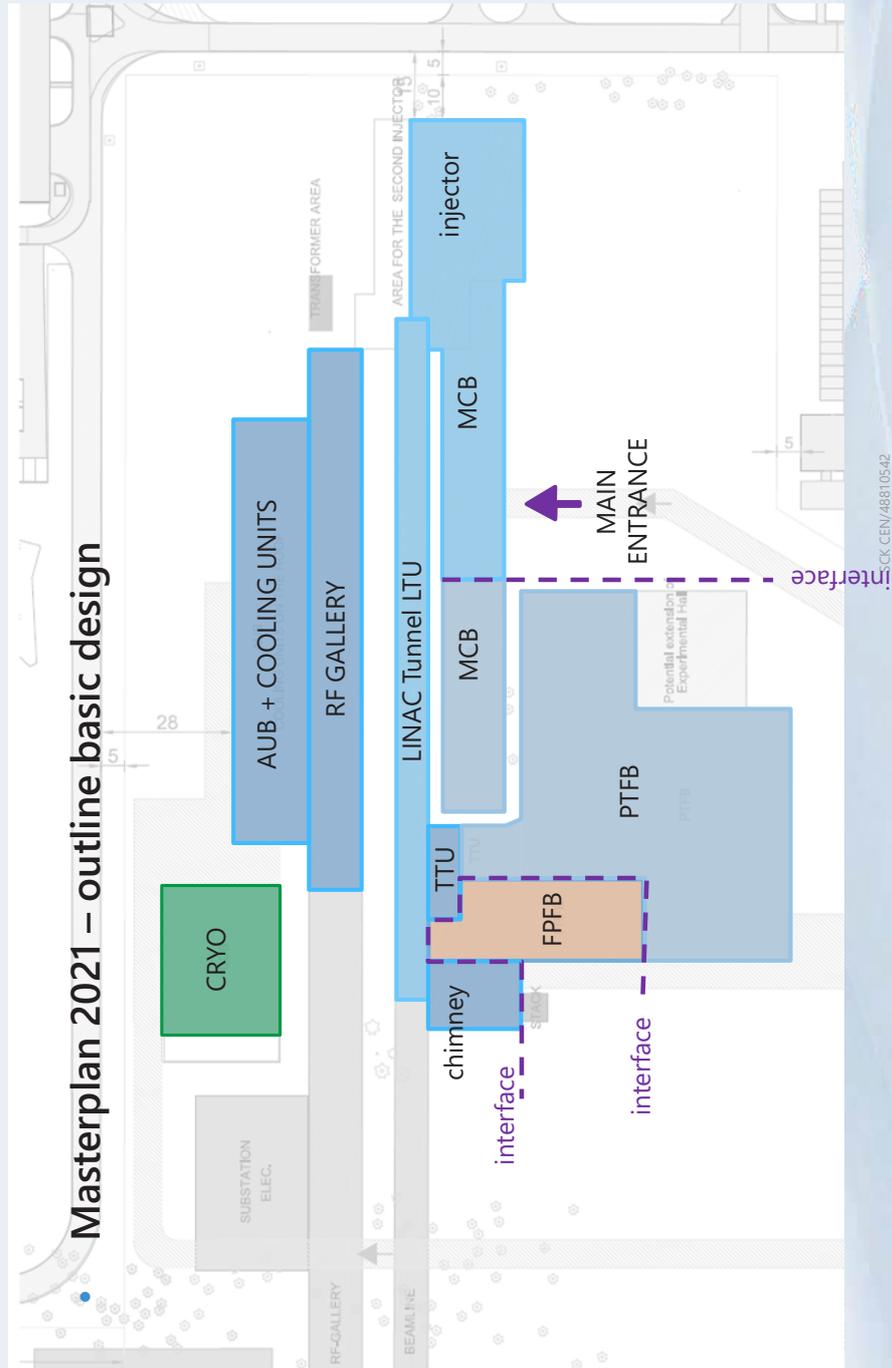


29  
Copyright © 2021 SJK CEN

SJK\_CEN/48810542  
ISC: Restricted

# Design status

## Masterplan 2021 – outline basic design

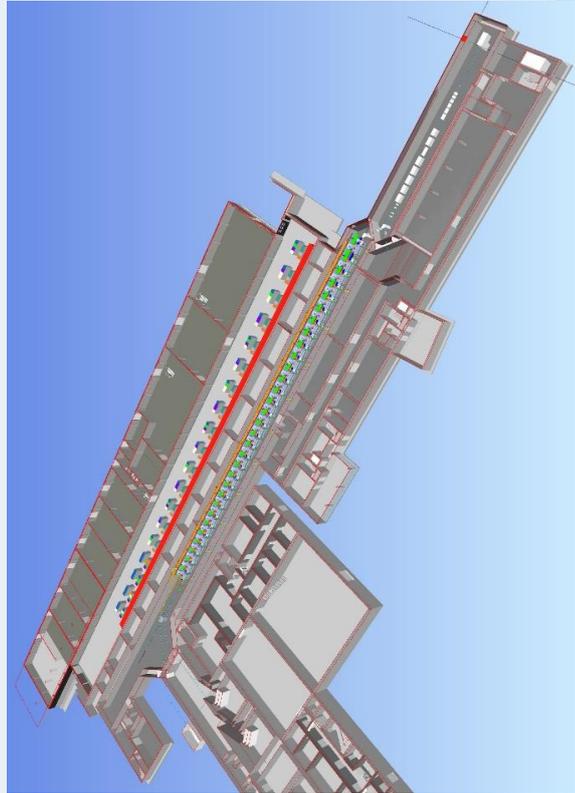
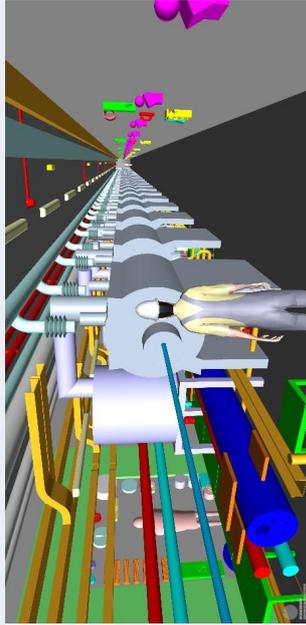


- = ACC
- = PTF
- = FPF
- = AUXILIARY

- PTFB: PTF Building
- FPFB: FPF Building
- TTU: Transfer Tunnel
- MCB: MINERVA Central Building
- FEB: Front-End Building
- LTU: LINAC Tunnel
- CRYO: Cryo-plant
- AUB: Accelerator Utilities Building

# NF ACC

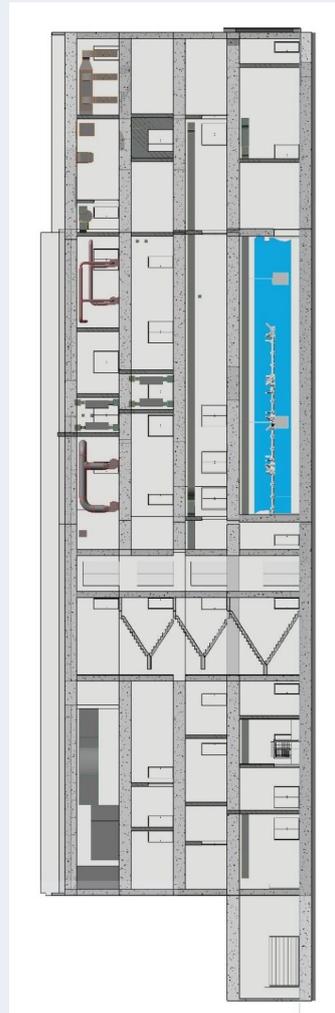
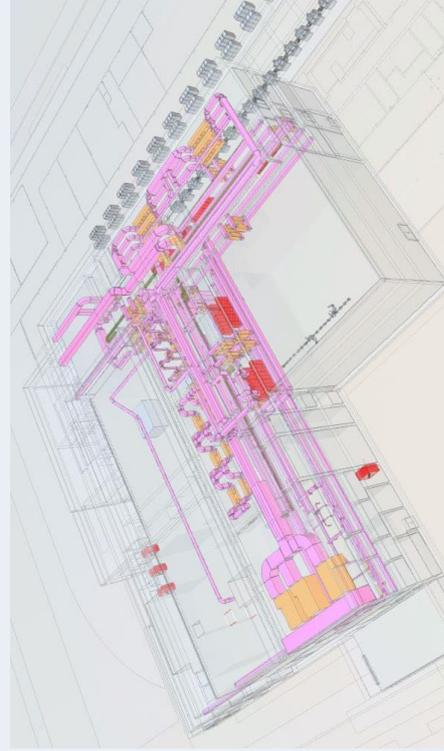
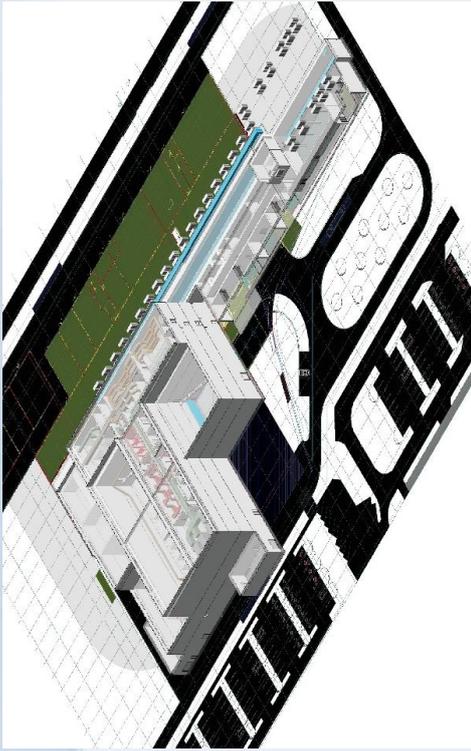
- **Outline Basic Design phase**
  - 3D data model
  - determines minimum level of detail (LOD 100) of all SSC
  - links 'all' information
  - tool for integration of SSC



ISC: Restricted

## NF PTF

- **Conceptual Design phase**
  - 3D data model
  - minimum LOD 100, higher level reached
  - primary systems included





# MYRRHA REACTOR: IMPLEMENTATION IN 2036

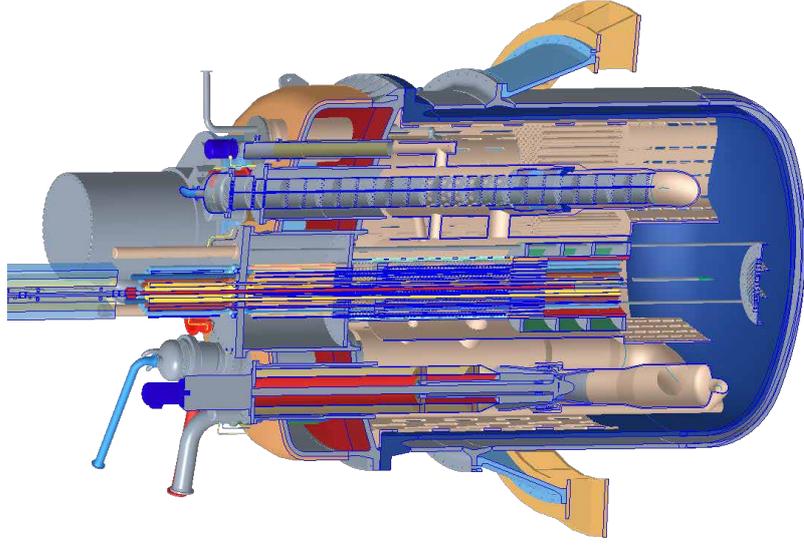
OBJECTIVES = TRANSMUTATION + RADIOISOTOPES + FUSION MATERIAL R&D + FISSION TECHNOLOGY PLATFORM

# MYRRHA REACTOR HIGHLIGHTS

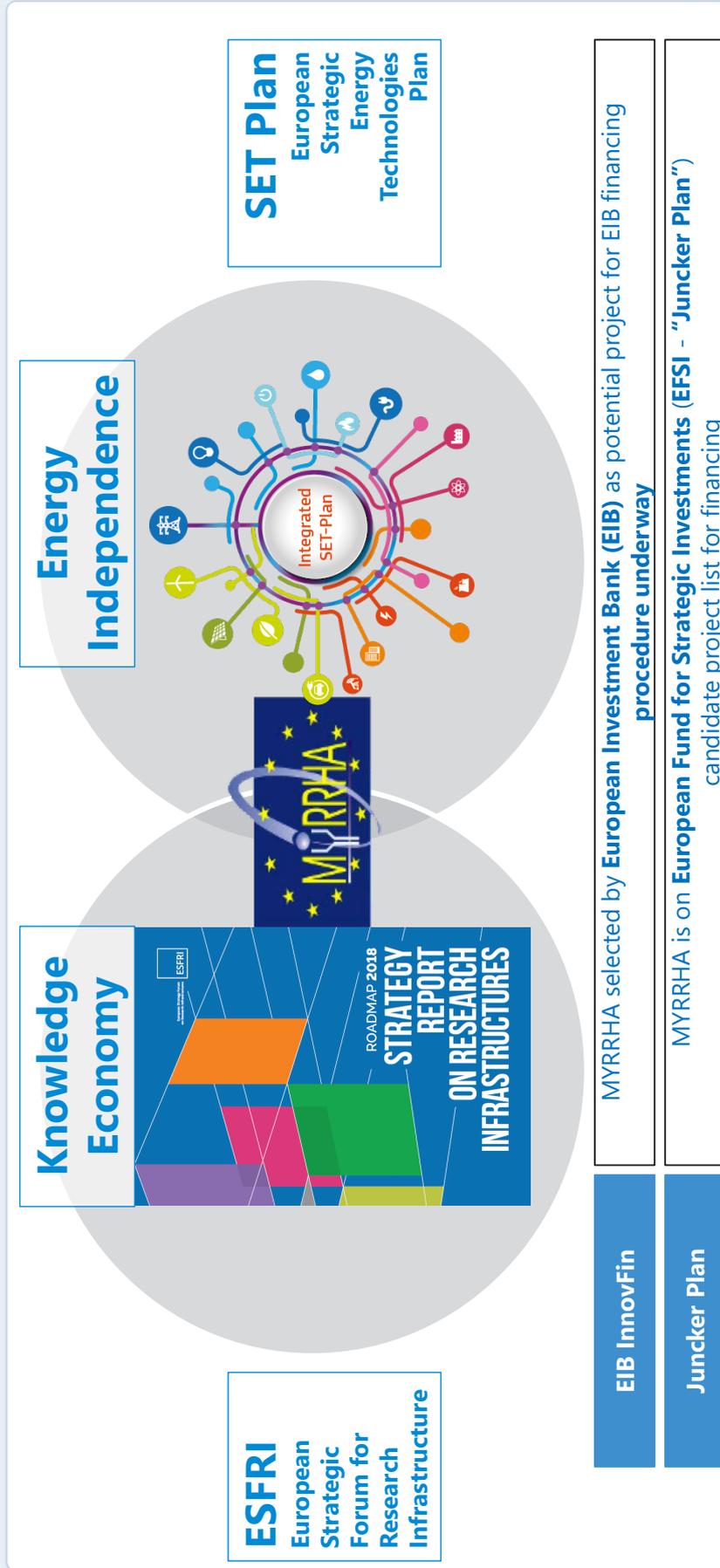


## MYRRHA reactor primary design Rev. 1.8, frozen end 2020

- Integrated Pool-type concept with Lead-Bismuth coolant
- Fuel assemblies: MOX fuel ~30wt.% Pu
- 4x heat exchangers
- 2x primary pumps
- Bottom core loading
- Safety vessel integrated into the primary vessel
- Decay heat removal by natural circulation
- Large sub-criticality
- Maximum power 70 MWth
- In-vessel temporary fuel storage



# MYRRHA contributes to EU strategic objectives

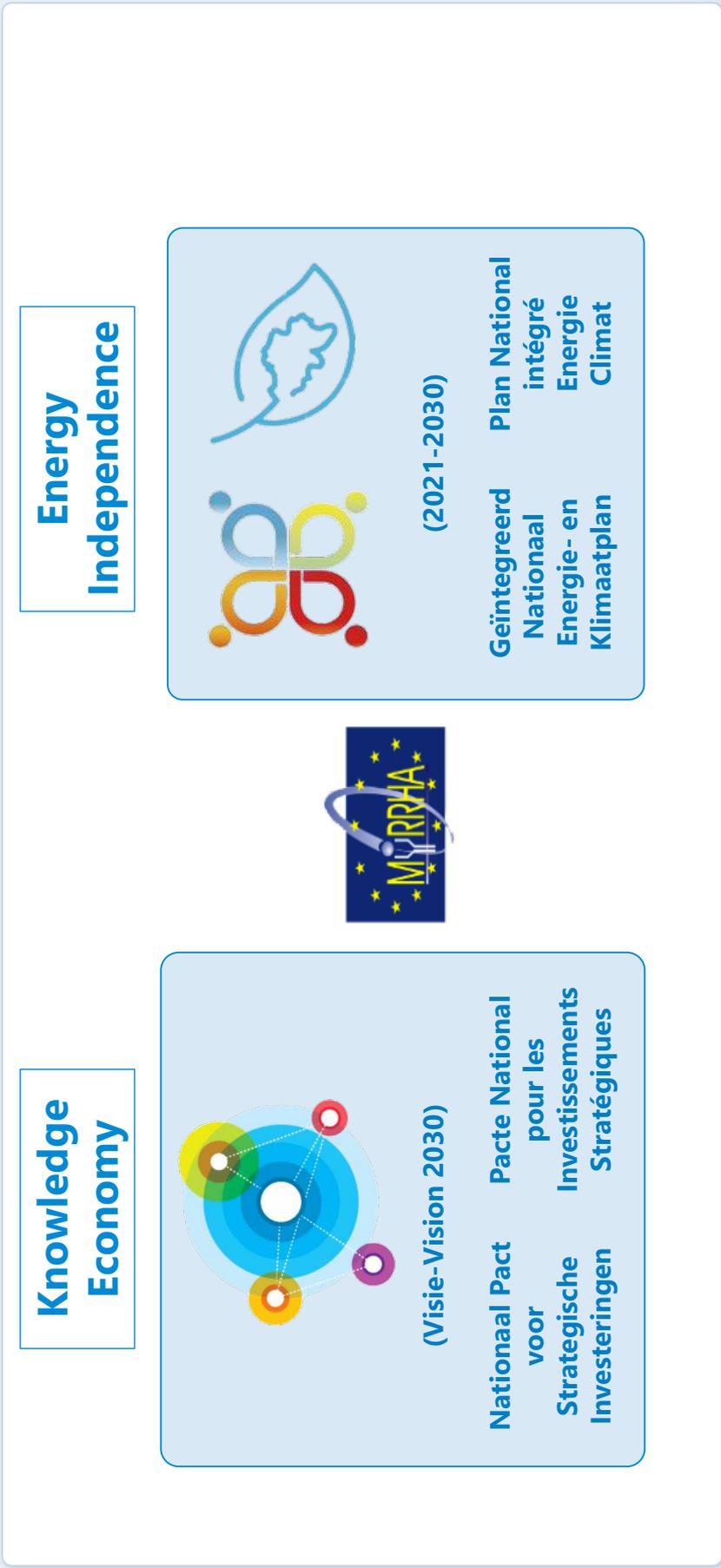


Source: European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), European Strategic Energy Plan (SET), EIB InnovFin  
SCK CEN MYRRHA Project Team

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

36  
Copyright © 2021 SCK CEN

# MYRRHA contributes to Belgian strategic objectives



SCK\_CEN/48810542  
ISC: Restricted

37  
Copyright © 2021 SCK CEN

# International R&D network (1)

## Universities

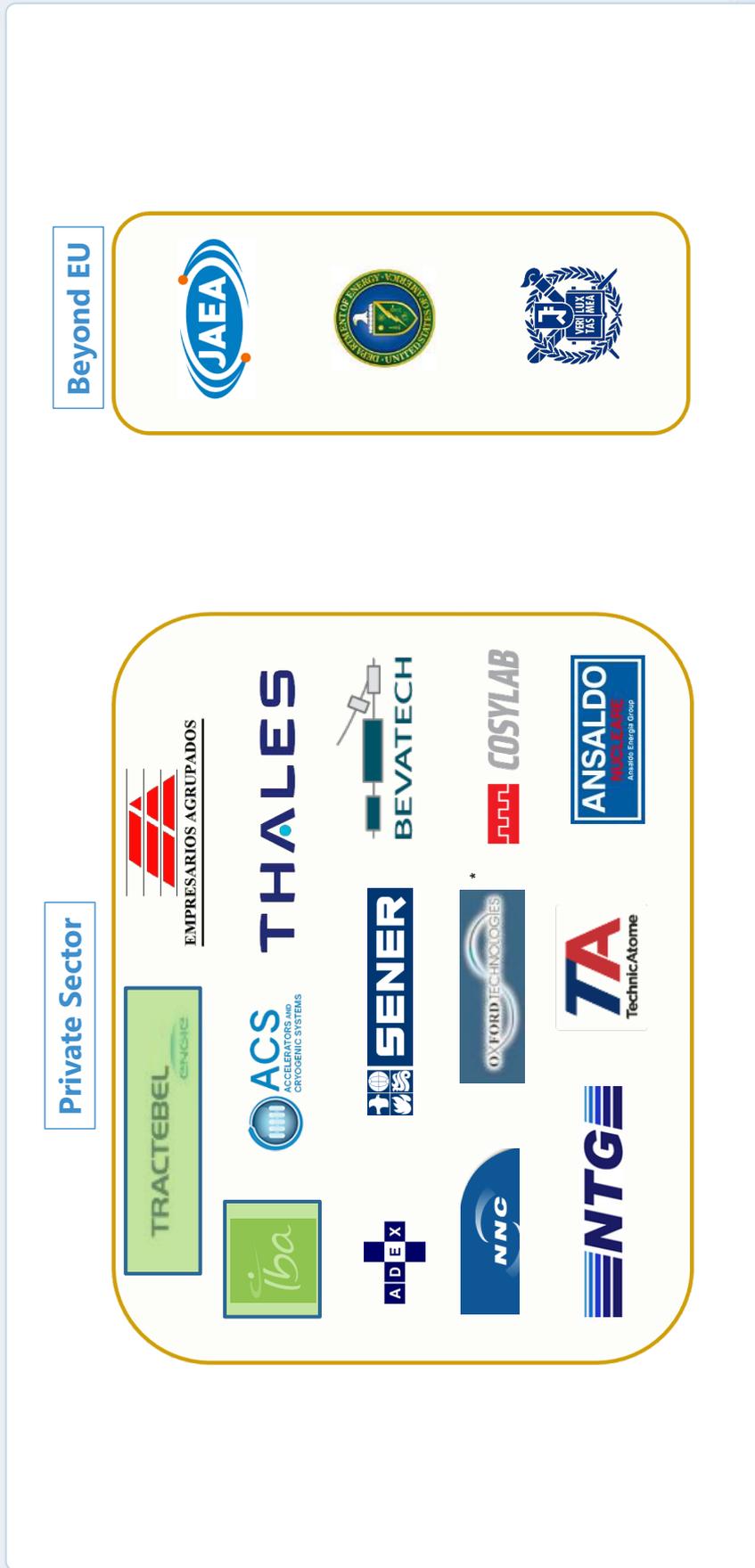
## Research

Source: SCK CEN MYRRHA Project Team  
\* Acquired by Veolia

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

38  
Copyright © 2021 SCK CEN

# International R&D network (2)

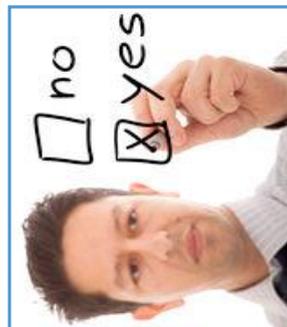


Source: SCK CEN MYRRHA Project Team  
\* Acquired by Veolia

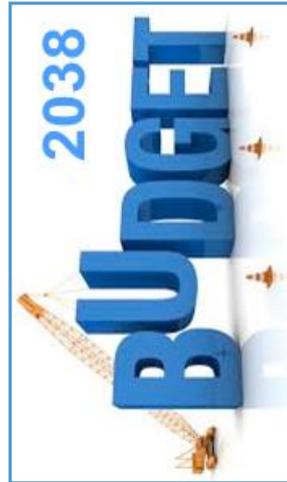
SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

39  
Copyright © 2021 SCK CEN

# Belgian Government decision of 7 September 2018 Confirmed on 23 July 2021 (+ creation of MYRRHA NPO)



**Decision to build MYRRHA** as large new research infrastructure in Mol, Belgium

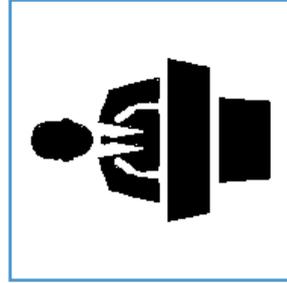


Belgium **allocates** € 558 m for 2019-2038

- 2019-2026: construction of MINERVA (linac 100 MeV + PTF & FTS)
- 2019-2026: design, R&D and licensing for Phases 2 (extended linac 600 MeV) & 3 (reactor)
- 2027-2038: MINERVA operations (linac 100 MeV)



Establishment of **international non-profit organisation MYRRHA AISBL/IVZW**  
**Decided 23.07.2021**  
**Created 17.09.2021**



**Government support** for establishing MYRRHA partnerships  
Belgium appoints tutorship ministers to promote and negotiate international partnerships

## MYRRHA AISBL/IVZW official from 16 December 2021



### Opzoeking in de Kruispuntbank van Ondernemingen (KBO)

#### Algemene gegevens

Ondernemingsnummer 0778714119 Startdatum 26/11/2021  
 Type ELP Einddatum 16/12/2021  
 Stopzetting Inschrijvingsdatum in het KBO  
 Duur 0  
 Benamingen

Type	Taal	Benaming
Naam	nl	MYRRHA

#### Rechtsvormen

Rechtsvorm
Internationale vereniging zonder winstoogmerk

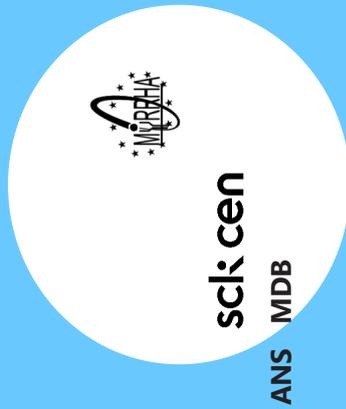
Source:

SCK\_CEN/48810542  
ISC: Restricted41  
Copyright © 2021 SCK CEN

**MYRRHA AISBL:** separate legal entity needed to find external partners/investors

### Responsability:

- SCK CEN
  - Design & build MINERVA
  - Conduct R&D for phases 2 ACC-600 & 3 MYRRHA Reactor
  - Obtain licenses for Phase 1 and later on for Phases 2 & 3
  - Being the nuclear operator of MYRRHA/MINERVA
- MYRRHA AISBL
  - Establish the MYRRHA International Consortium
  - Guarding the overall scope of MYRRHA programme



# MYRRHA International nonprofit organisation

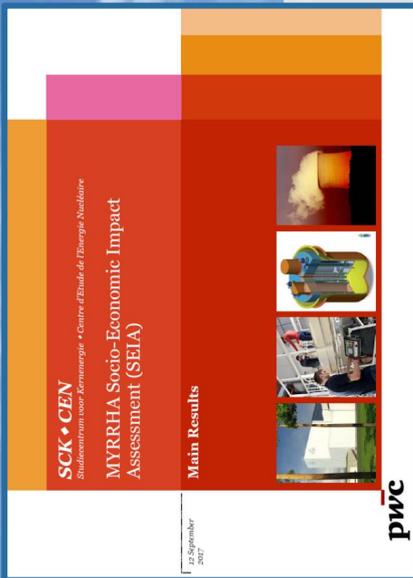
## MYRRHA AISBL/IVZW: Membership

- Member categories:
  - a) **Founding members** : Belgian State and SCK CEN
  - b) **Contributing members** open for :
    - Countries
    - **National Research Organisations, industries of a country**
    - International Institutions or Associations
- Rights & Obligations
  - Contribution in-cash or in-kind to become contributing member
  - from 40 M€ contribution :
    - 1 Director in the Board of Directors (overall maximum of 4)
    - 1 Voting right in the General Assembly per 40 M€ contribution
  - Annual membership fee <100 k€ on proposal of BoD (right of nomination of a representative in the International Scientific and Technical Advisory Board (ISTAB))



# MYRRHA SOCIO-ECONOMIC IMPACT BY PWC (2017)

ASSESSMENT REQUESTED BY FEDERAL GOVERNMENT PRIOR DECISION SEPTEMBER 2018



**ADDED VALUE**  
€ 6.4 BN

**EMPLOYMENT**  
34 000 FTES

**MYRRHA, A BOOST FOR JOBS IN BELGIUM**

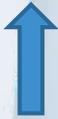
## Conclusions

### Belgium sends a strong signal about its ambitions:

- Maintaining a high level of **know-how** in the nuclear field
- Becoming an **international pole of attraction** for young talents in nuclear applications
- Convert innovations into **solutions** for **societal challenges** (nuclear waste, nuclear medicine, sustainability)
- Encourage and welcome **international cooperation and partnership**



2018  
Positive decision



Ground breaking  
Q4 2022 – Q2 2023 !

SCK CEN/48810542  
ISC: Restricted

45  
Copyright © 2021 SCK CEN