

l'essentiel

2017



The image features large, bold, blue numbers '2017' in a sans-serif font. The numbers are positioned in the upper half of the page, with the '2' and '0' on the top line and the '1' and '7' on the line below. The background is white, and the numbers are partially cut off at the top and right edges.

« Une approche responsable de la société »

Les études réalisées dans des domaines nucléaires indispensables à la société d'aujourd'hui et de demain, constituent notre activité principale : la sûreté et l'efficacité des installations nucléaires, le dépôt des déchets radioactifs, la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants et le développement durable. C'est ainsi que nous contribuons à une société viable, pour notre génération et les générations futures.



STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

l'essentiel
2017

CHER LECTEUR, CHÈRE LECTRICE,

Une grosseur dans le cou, tout au plus. Le diagnostic tombe : cancer. Chaque année, plus de 65.000 cancers sont dépistés en Belgique. Un chiffre qui ne fera qu'augmenter à l'avenir, passant déjà à 80.000 cas en 2025. Soit en moyenne 200 personnes par jour. Heureusement, les chances de survie augmentent année après année grâce à de nouvelles thérapies. La qualité de vie, elle, reste un problème majeur. Les patients doivent faire face aux effets collatéraux des traitements plusieurs années après avoir été soignés, avec un impact non négligeable sur leur travail et leur vie sociale. La nécessité de pouvoir offrir des thérapies contre le cancer personnalisées et surtout moins invasives reste une priorité.

Du rêve à l'exploration scientifique

Nous sommes fiers que notre centre de recherche joue un rôle essentiel dans cette lutte contre le cancer. Notre réacteur de recherche BR2 produit chaque année plus de 25% de la demande mondiale en radio-isotopes médicaux, voire même 65% en cas de pic. Pas moins de 30 millions d'exams sont réalisés chaque année grâce à cette production. En 2017, nous avons plus que jamais redoublé d'efforts dans ce combat contre le cancer. Pour répondre à la demande du monde médical, nous avons ajusté les installations d'irradiation de notre réacteur de recherche BR2 pour produire, en plus du molybdène 99 (99Mo), encore plus de radio-isotopes différents et accroître la capacité d'irradiation. Notamment le lutécium 177 pour le traitement du cancer de la prostate et l'yttrium 90 pour le traitement du cancer du foie.



Eric van Walle
Directeur général
du SCK•CEN



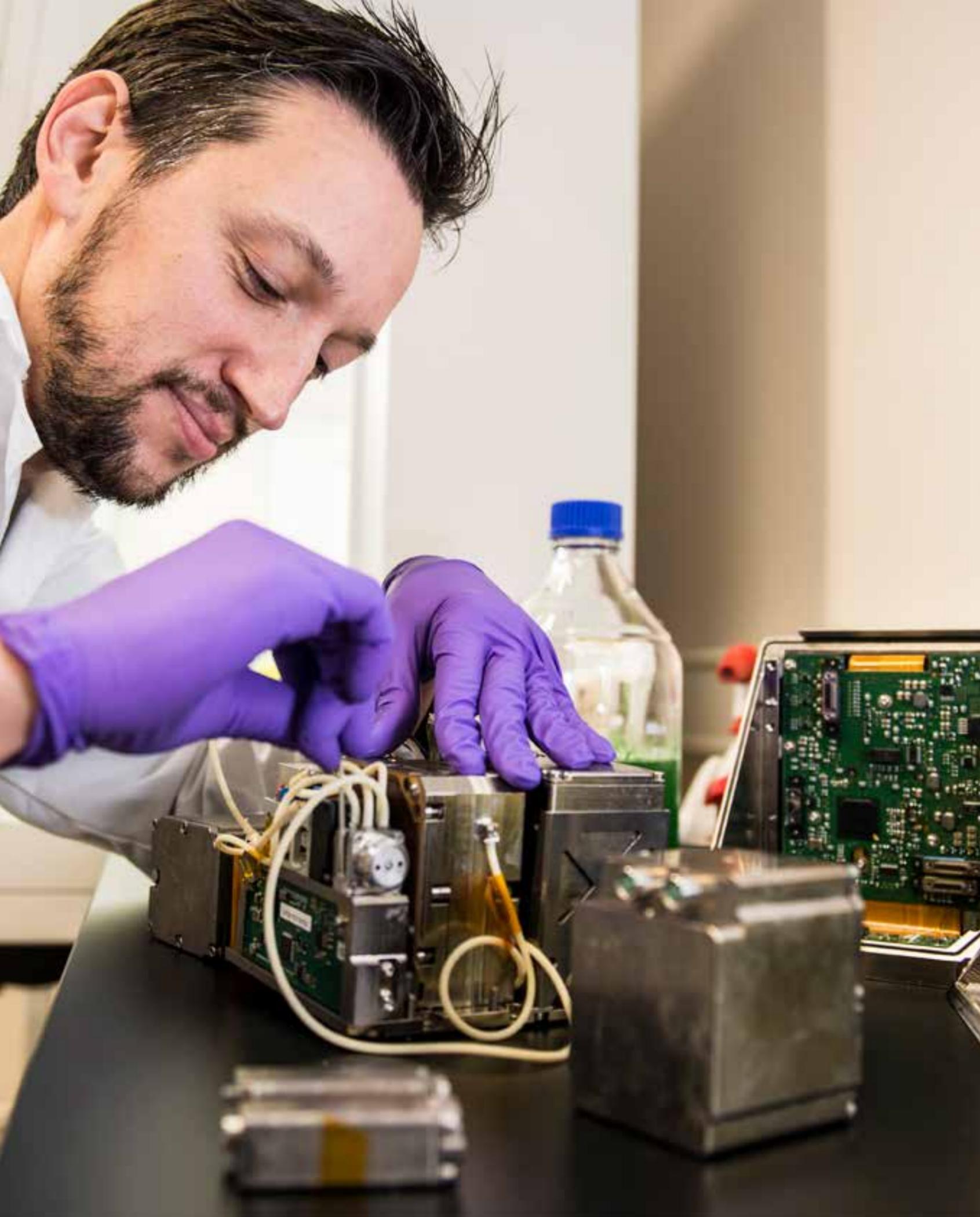
2017 a fait rimer rêve et exploration scientifique. Je vous invite à vous plonger dans ce rapport annuel pour revivre toutes ces belles découvertes.

Bonne lecture !

Grâce à notre installation de recherche multifonctionnelle MYRRHA, et dans une première phase via l'accélérateur MINERVA et ses stations d'irradiations, nous poursuivrons nos activités dans ce domaine. Nous mènerons des recherches sur les radio-isotopes théranostiques (destinés au diagnostic et au traitement thérapeutique) et les produirons afin de détruire de façon plus ciblée les cellules cancéreuses et de réduire considérablement les effets néfastes pour les patients.

Nos efforts en matière de recherche déployés dans le monde entier, notre excellence scientifique et les infrastructures uniques de notre centre d'étude ne sont pas passés inaperçus. Après un audit intense, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a attribué au SCK•CEN le label ICERR (International Centre Based on Research Reactors) lors de la Conférence générale de 2017 à Vienne. Le SCK•CEN est le troisième institut au monde à recevoir ce label. Par cette reconnaissance, l'AIEA nous désigne comme un centre de recherche nucléaire de pointe et reconnu comme tel à l'échelle internationale, un centre mettant ses connaissances au service de pays désireux de développer leurs programmes de sciences et technologies nucléaires. Cette reconnaissance rejoint notre mission de transfert de connaissances et conforte notre rayonnement à l'international.

2017 est également synonyme de dépassement et de conquête. La radiobiologiste Sarah Baatout a bravé le froid glacial et les vents impétueux de l'Antarctique afin d'étudier l'impact des conditions extrêmes sur le système immunitaire et simuler la vie des astronautes en mission spatiale. Cet Espace, terrain d'exploration infini, nous l'avons approché de plus près grâce à l'envoi du tout premier bioréacteur dans l'ISS. Cet Univers que nous avons sondé en profondeur en déclarant ouverte la chasse au mystérieux neutrino stérile.



2017

en bref

01

Se réinventer sans cesse

- 14 Valorisation, science et société, les atouts gagnants du SCK•CEN
- 18 SCK•CEN – ANMI : un partenariat à haute valeur médicale ajoutée
- 20 Le réacteur BR2, source d'innovations en médecine
- 24 Certificat ICERR: une reconnaissance d'exception pour le SCK•CEN

02

MYRRHA monte en puissance

- 28 Le dossier complet de MYRRHA remis au gouvernement belge
- 32 MYRRHA se dote d'un solide plan commercial et financier
- 34 MYRRHA phase 1 : objectif 100 MeV

03

Plongée exploratoire aux confins de l'univers

- 38 Du continent blanc à la planète rouge
- 42 Des cyanobactéries « belges » à la conquête de l'espace
- 46 À la poursuite de l'énigmatique neutrino stérile

04

A la pointe du progrès technologique

- 50 Mieux protéger les yeux du personnel médical
- 54 Sur la piste du ruthénium
- 56 MYRRHA teste ses aiguilles fissiles

05

Chiffres clés

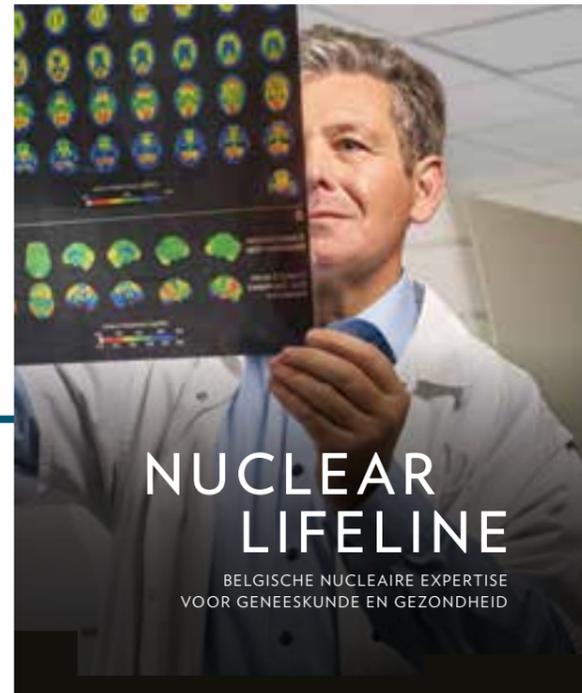
2017

en bref

Janvier

31/01

L'expertise du SCK•CEN en médecine nucléaire épinglée dans un reportage signé National Geographic



Février

10/02

Hans Vanmarcke publie son premier rapport en sa qualité de président de l'UNSCEAR



09/03

Les experts CBRN du SCK•CEN choisis pour former la police d'Anvers



23/03

Les jeunes chercheurs du SCK•CEN ouvrent la voie à de nouvelles applications thérapeutiques

Mars



Avril

12/04

Première irradiation de l'aiguille de combustible MYRRHA effectuée avec succès

p56



11/05

6e Symposium sur les Radio-isotopes médicaux en présence de SAR la Princesse Astrid

Mai

Juin

15/06

Le SCK•CEN conclut un accord de collaboration avec le Korea Atomic Energy Research Institute



23/08

Bevatech, une spin-off de la Goethe University Frankfurt (Allemagne), et le SCK•CEN concluent un contrat pour le développement de la première phase de l'accélérateur à particules de MYRRHA

Juillet - Août

Septembre

15/09

Visite de Zuhail Demir, Secrétaire d'État belge à la Lutte contre la pauvreté, à l'Égalité des chances, aux Personnes handicapées, à la Politique scientifique et aux Grandes villes

19/09

Le SCK•CEN reconnu comme rôle modèle par la plus haute instance internationale de l'énergie atomique, l'AIEA

p24



Octobre

10/10

Le SCK•CEN fête les 25 ans de la recherche et des missions spatiales belges



Novembre

07/11

Le SCK•CEN fête le 150e anniversaire de Marie Sklodowska-Curie

15/11

Le Français Christophe Poinssot (CEA) reçoit le prix « Roger Van Geen » 2017



Décembre



04/12

La chercheuse Sarah Baatout rejoint la station Princesse Elisabeth

p38

18/12

Le SCK•CEN envoie le premier bioréacteur dans l'espace

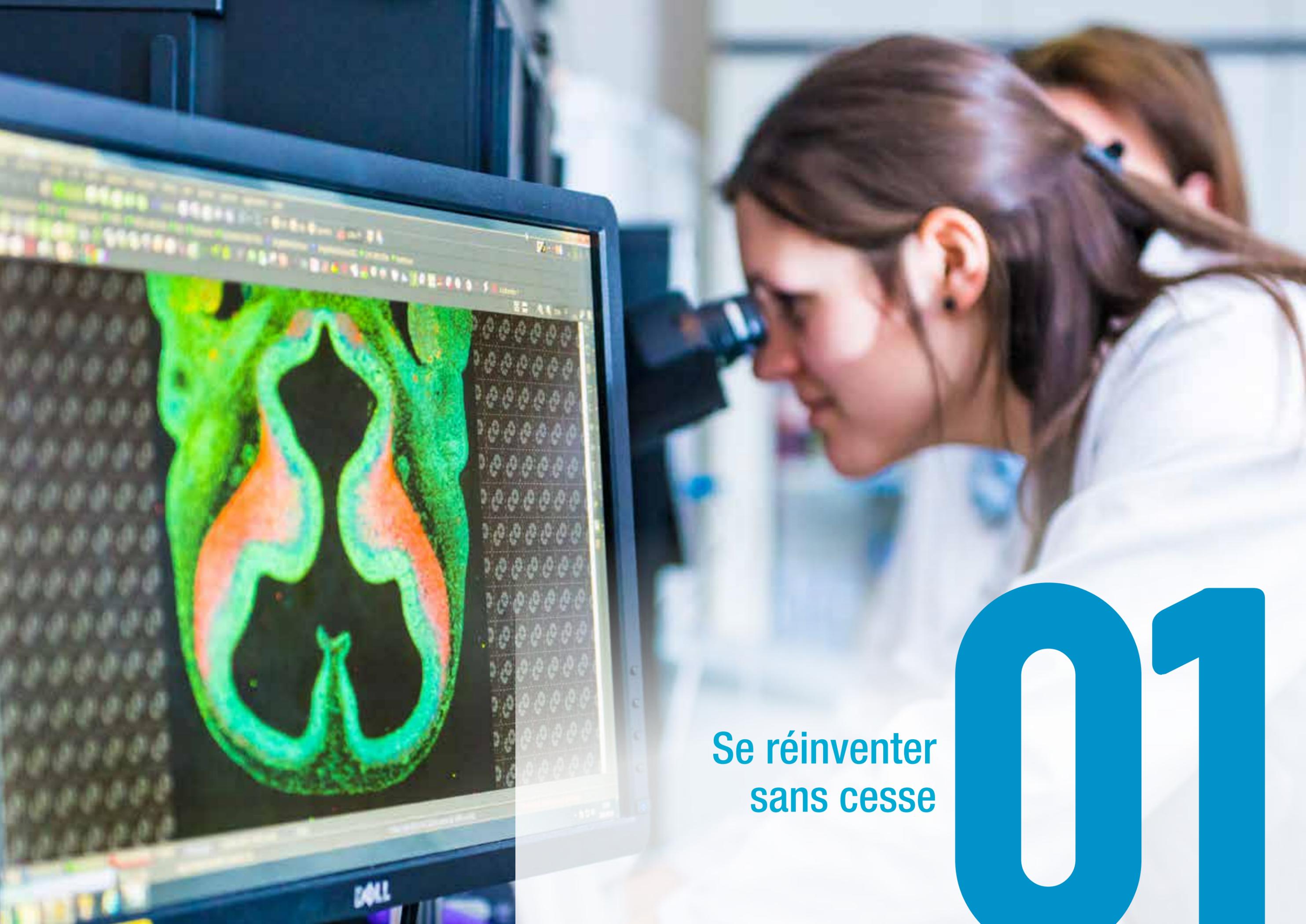
p42

21/12

Avec un consortium international, le SCK•CEN développe un détecteur de neutrinos stériles

p46





Se réinventer
sans cesse

01

Valorisation, science et société, les atouts gagnants du SCK•CEN

À sa longue tradition d'excellence scientifique, le SCK•CEN a toujours associé une solide contribution à la société. Valoriser et pérenniser ses activités sans trahir cet ADN est aujourd'hui une préoccupation majeure pour notre institution.

Créé au départ pour asseoir notre maîtrise de l'atome et lancer la Belgique sur la voie de l'énergie nucléaire, le SCK•CEN a vu ses missions s'ouvrir à un éventail d'applications toujours plus larges des rayonnements ionisants : médecine nucléaire, dosimétrie de pointe, recherche fondamentale ou conquête spatiale. Le financement du centre a en même temps évolué d'un soutien purement étatique vers un mélange de financement public, de subventions à la recherche (régionales, nationales et internationales) et de prestation de services.

« Les bourses et fonds européens d'aide à la recherche sont par exemple une source de financement importante. Dans ce domaine, le taux de réussite de nos scientifiques lors des soumissions est assez impressionnant, de l'ordre de 75% pour les programmes Horizon 2020, ce qui est très élevé », explique Yves Boland, Business Development & Support Director au SCK•CEN. « Aujourd'hui, les sources de financement étatiques ne suffisent plus. Il faut se diversifier. »

Si dans le modèle classique, ce sont les équipes de recherche et de développement qui sont au service du business development, au SCK•CEN, c'est l'inverse. « C'est nous qui supportons les scientifiques », poursuit Yves Boland. « Nous faisons en sorte que le centre puisse continuer à générer les ressources qui vont lui permettre de pérenniser ses activités de recherche, de créer de la valeur ajoutée, d'investir en moyens humains et matériels. Ce qui rend ce travail si gratifiant, c'est la somme d'innovations de haut niveau qui est créée ici. Le plus difficile au final est de

choisir ce sur quoi on va se focaliser. Mais nous avons heureusement des outils qui nous permettent d'évaluer le potentiel des différentes activités du centre. »



S'ouvrir au monde

Pour une institution comme le SCK•CEN, la valorisation de ses activités passe donc autant par la création de revenus propres que par la maximisation de son impact sur la société. « Si l'on veut faire sortir l'innovation et la recherche hors des laboratoires, si l'on souhaite avoir un impact sur la société, il est également nécessaire de nouer des partenariats avec l'extérieur, que ce soit des partenaires privés ou des institutions. C'est primordial si l'on veut que les connaissances puissent servir à créer de nouveaux biens ou services utiles à la société », affirme Yves Boland.



Le réacteur de recherche BR2 est un bel exemple de cette combinaison entre développement des connaissances, applications à forte vocation sociétale et ouverture au monde. « Il faut savoir que la première étape de production d'une grande partie des radioisotopes utilisés en médecine nucléaire se fait au sein de ce réacteur, qui était au départ conçu pour l'étude des matériaux et des combustibles nucléaires. Grâce à cela, une partie des frais de fonctionnement du réacteur est absorbée, ce qui permet de continuer à faire de la recherche », souligne Yves Boland.

Cette mission de recherche sur les matériaux n'est d'ailleurs pas non plus dénuée de retombées positives pour la société. « Après Fukushima, on s'est rendu compte qu'il était important de disposer de matériaux susceptibles de faire gagner du temps en cas d'accident nucléaire. D'où l'intérêt d'un réacteur de recherche comme le BR2 qui est l'un des rares à permettre la simulation en un temps relativement court des conditions opératoires s'étendant sur plusieurs années. »

« Les bourses et fonds européens d'aide à la recherche sont une source de financement importante. Le taux de réussite de nos scientifiques lors des soumissions est assez impressionnant, de l'ordre de 75% pour les programmes Horizon 2020, ce qui est très élevé. »



À la conquête du marché radiopharmaceutique

Ces dernières années, le SCK·CEN s'est aussi tout particulièrement intéressé au domaine prometteur de la radiopharmaceutique. Ce marché en plein développement, qui promeut l'utilisation d'isotopes radioactifs à des fins médicales, affiche à l'heure actuelle un chiffre d'affaires mondial estimé à 1 milliard d'euros. Mais les projections montrent qu'il pourrait grimper à 14 milliards d'euros dans les dix ans à venir. « Il y a un changement de paradigme à l'œuvre. Les radioéléments ne sont plus seulement destinés à l'imagerie médicale. Les nouvelles générations de radioisotopes sont utilisées aussi pour guérir des maladies comme les cancers et de manière très efficace. Il s'agit d'un axe majeur de développement pour notre centre de recherche, et cela d'autant plus que certains réacteurs de production étrangers ont dû fermer leurs portes et que nous sommes bien positionnés pour reprendre leurs activités », se félicite Yves Boland.

« Ce qui rend notre travail si gratifiant, c'est la somme d'innovations de haut niveau qui est créée ici. Le plus difficile au final est de choisir ce sur quoi on va se focaliser. »

Démantèlement : une expertise reconnue

L'expertise internationalement reconnue du SCK·CEN en matière de démantèlement et de décontamination d'installations nucléaires est une autre source de revenus appréciable pour le centre. « Historiquement, le SCK·CEN est le premier acteur en Europe à avoir démantelé un réacteur du même type que celui des centrales belges. Nous avons développé à cette occasion une série de techniques originales. Cette expertise nous permet de proposer nos services en tant que consultant à d'autres opérateurs, sur des projets de démantèlement actuels ou futurs, que ce soit par exemple en Allemagne ou en Belgique. »

Conjurer innovation et valorisation

Ce savoir-faire reconnu, cette maîtrise technologique et cette tradition d'excellence scientifique ne tiennent évidemment pas du hasard. Ils sont profondément enracinés dans la culture d'entreprise du centre. Yves Boland en est d'ailleurs persuadé. « Tous nos scientifiques et nos employés sont extrêmement motivés par leur travail. Beaucoup ont su garder un ancrage fort avec le monde académique et celui de la recherche fondamentale. C'est un esprit qu'il est important de préserver. Il ne serait pas sain de ne faire porter nos efforts que sur la valorisation de nos activités. Nous avons des missions à remplir pour la société, ce qui rend le centre unique en son genre. »



SCK•CEN – ANMI : un partenariat à haute valeur médicale ajoutée

Le récent partenariat conclu avec la prometteuse start-up liégeoise ANMI réaffirme la présence du SCK•CEN dans le domaine des applications médicales. Tout particulièrement dans le champ de la médecine nucléaire, dont le potentiel diagnostique et thérapeutique est en plein développement.

C'est une révolution médicale qui s'annonce dans le domaine des médicaments nucléaires. Historiquement dominé par les applications diagnostiques, le marché de composés radiopharmaceutiques connaît aujourd'hui des avancées marquantes, plus particulièrement dans le domaine de la thérapie ciblée du cancer où des résultats spectaculaires ont été enregistrés. Ces nouveaux traitements nécessitent des outils de simultanés de diagnostic et de thérapie (théranostiques), abordables et faciles à utiliser, mais aussi un développement à la hauteur des espoirs qu'ils suscitent.

Un kit « théranostique » innovant

C'est toute la raison d'être du récent partenariat qui a été conclu entre le SCK•CEN et ANMI (*Advanced Nuclear Medicine Ingredients*). Cette jeune et prometteuse start-up belge basée à Liège propose des précurseurs radiopharmaceutiques et radiomarqués. Elle se profile comme un fournisseur de services mondial dans le domaine de la médecine nucléaire. « Elle est surtout à l'origine d'une technologie innovante de diagnostic du cancer de la prostate qui est en passe de recevoir les autorisations nécessaires pour être utilisée à large échelle », révèle Yves Boland, Business Development & Support Director du SCK•CEN. Toute l'ingéniosité d'ANMI est d'avoir réussi à mettre au point un kit combinant une charge radioactive à un vecteur biologique ciblant spécifiquement les cellules cancéreuses de la prostate. Atout supplémentaire, ce procédé peut être utilisé pour le diagnostic, mais aussi, dans le futur, pour la thérapie. Les résultats préliminaires sont d'ailleurs très encourageants (lire notre article en page 14).

Un partenariat qui coule de source

Rien d'étonnant à ce que le SCK•CEN ait choisi de s'associer à cette start-up au fort potentiel de développement. « La médecine nucléaire est une des priorités du SCK•CEN. Les outils que propose et développe ANMI mettent de surcroît en oeuvre des radioéléments dont une étape clé de la production se fait grâce aux infrastructures uniques de notre centre de recherche. Nous avons donc tout intérêt à voir ces solutions arriver sur le marché. Cela assure un débouché aux radioisotopes à vocation médicale que nous produisons », souligne Yves Boland. Fin 2017, le SCK•CEN

concrétisait ce partenariat par un prêt convertible destiné au développement d'ANMI. « Nous sommes également en train de finaliser l'investissement pour la levée de capital de cette start-up qui finance par ailleurs aussi une thèse de doctorat au SCK•CEN portant sur l'innovation et le développement de composés radiopharmaceutiques. »

Des développements prometteurs

Si cette collaboration est pour le SCK•CEN une belle reconnaissance du savoir-faire qu'il cultive depuis sa création, elle s'avère aussi un tremplin vers d'autres débouchés tout aussi prometteurs. « Cette participation va nous permettre de renforcer nos compétences en matière de recherche sur les mécanismes d'action des médicaments radiopharmaceutiques pour lesquels nous sommes déjà bien placés. Dans le futur, nous pourrions également nous positionner pour pouvoir mener des études précliniques à partir de molécules radioactives utilisant les infrastructures accréditées du SCK•CEN », se réjouit Yves Boland.

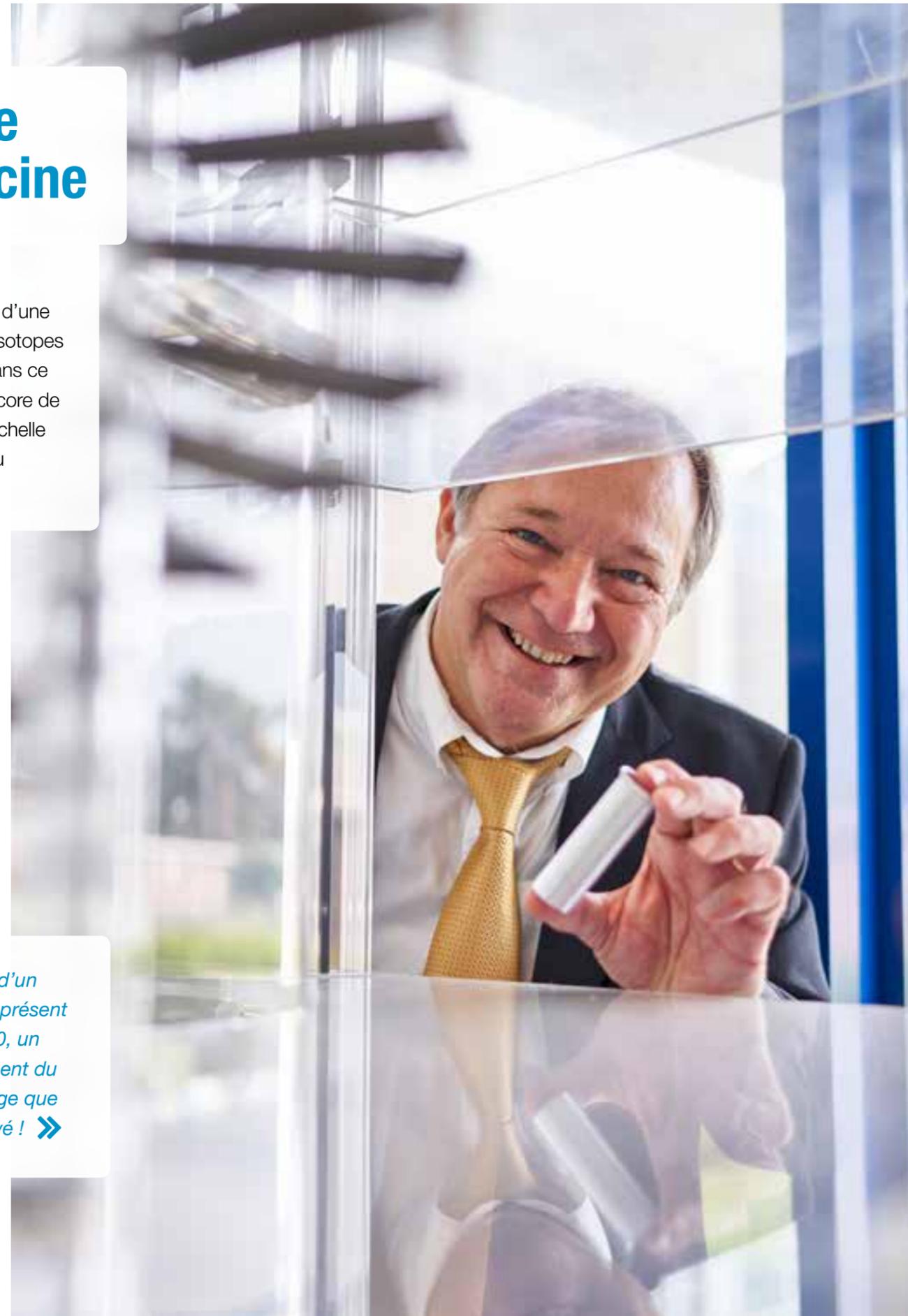


Le réacteur BR2, source d'innovations en médecine

Soyons pour une fois chauvins. La Belgique peut s'enorgueillir d'une véritable expertise dans la recherche et la production de radioisotopes utilisés en médecine nucléaire. Acteur mondialement réputé dans ce domaine, le réacteur de recherche BR2 du SCK•CEN vient encore de le démontrer, en lançant la toute première production à large échelle d'un isotope du lutécium, très prometteur pour le traitement du cancer de la prostate.

Le réacteur de recherche BR2 est depuis de nombreuses années un pilier essentiel de la médecine nucléaire tant belge qu'internationale. Il produit de nombreux radioisotopes destinés à l'imagerie médicale et la thérapie du cancer. Le BR2 dispose par exemple de la plus grande capacité mondiale d'irradiation de cibles pour la production de Mo-99, un isotope du molybdène. « C'est le principal isotope que nous produisons », confirme Bernard Ponsard, Radioisotopes Project Manager au SCK•CEN. En période de fonctionnement, pas moins de 65% de la demande mondiale de Mo-99 est ainsi produite à Mol, et 25% en moyenne annuelle. Une fois élaboré, ce même Mo-99 permet d'obtenir par décroissance

« Pour anticiper la fermeture récente d'un réacteur canadien, nous sommes à présent capables de produire de l'yttrium-90, un radio isotope crucial dans le traitement du cancer du foie. Un véritable challenge que nous sommes très fiers d'avoir relevé ! »

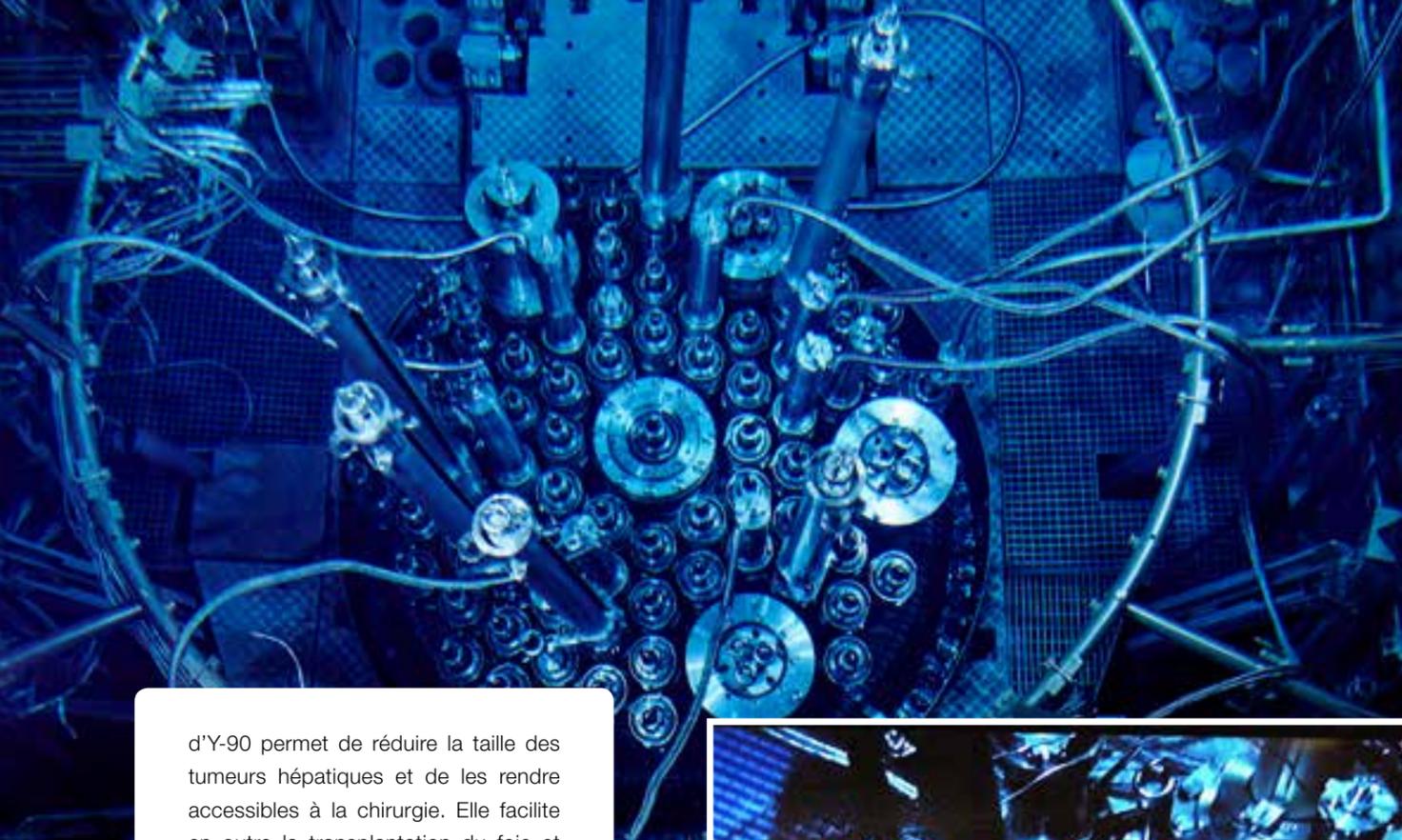


un isotope du technétium, le Tc-99m, qui est utilisé dans 80% des procédures de radiodiagnostic sur le globe. « Cela correspond à environ 30 millions d'exams annuels ! », souligne Bernard Ponsard.

Mais au BR2, on ne se repose certainement pas sur ses lauriers. Les dispositifs d'irradiation du réacteur ont par exemple été adaptés en 2017, pour permettre l'irradiation d'un nouveau type de cibles. Cette modification autorise désormais le réacteur à produire le Mo-99 à partir d'uranium faiblement enrichi (concentration en U-235 inférieure à 20%) en remplacement d'uranium hautement enrichi (concentration en U-235 supérieure à 20%), en accord avec le traité de non-prolifération nucléaire. Une étape essentielle franchie avec succès.

De l'yttrium-90 pour prolonger la vie des patients

Des efforts supplémentaires ont également été consentis en 2017 pour développer la production d'autres radioisotopes, en particulier pour le traitement du cancer du foie. Le réacteur BR2 va ainsi être validé pour la production de microsphères d'yttrium-90 (Y-90). « Cet isotope est déjà utilisé depuis un certain temps, mais pour nous il s'agit d'une nouvelle production, qui fait suite à la fermeture toute récente d'un réacteur canadien que nous avons pu anticiper. Il s'agissait d'un challenge et nous sommes très fiers d'y être parvenus », se félicite Bernard Ponsard. Assez innovante et en développement, l'approche faisant appel à ces microsphères »



d'Y-90 permet de réduire la taille des tumeurs hépatiques et de les rendre accessibles à la chirurgie. Elle facilite en outre la transplantation du foie et prolonge considérablement la survie des patients en améliorant leur qualité de vie.

Un projet visant à produire des microsphères d'holmium-166 (Ho-166) est également en cours de développement, toujours pour le cancer du foie. Contrairement à l'Y-90, le Ho-166 n'a pas qu'un effet purement thérapeutique. Il permet aussi de réaliser les procédures d'imagerie médicale et de dosimétrie pour optimiser les doses administrées aux patients et préserver au maximum les tissus sains. « *Nous sommes en train de tester et d'adapter sa production* », précise Bernard Ponsard.

Une demande multipliée par trois

Mais le développement le plus spectaculaire enregistré en 2017 dans le réacteur BR2, en termes de production de radioisotopes, est lié à la production d'un isotope de lutécium, le Lu-177. Ce radioélément - qui pour l'anecdote tire son nom de Lutèce, l'ancienne dénomination de la ville de

Paris - est en passe d'être autorisé à la commercialisation par l'UE pour le traitement du cancer de la prostate, le deuxième cancer par ordre de fréquence chez l'homme. L'originalité de cette nouvelle approche, qui combine diagnostic et thérapie, est de faire appel à un couple de radioisotopes, le Lu-177 et le gallium-68 (Ga-68), qui permet un meilleur diagnostic, une localisation plus précise des tumeurs et de leur taille et un traitement plus efficace.

Les résultats enregistrés lors des études cliniques sont en tout cas très encourageants. Et les demandes d'irradiation pour la production de Lu-177 « *carrier free* » (par irradiation de Ytterbium-176) et « *carrier added* » (par irradiation de Lu-176) ont littéralement explosé. Et ce n'est qu'un début. « *On parle*



LE LU-177, UN ESPOIR POUR LE CANCER DE LA PROSTATE

Très meurtrier, le cancer de la prostate est responsable d'environ 90 000 décès par an en Europe. L'une des voies les plus prometteuses pour son traitement est la combinaison d'un émetteur bêta (Lu-177) et d'un ligand sur lequel il est greffé, en l'occurrence un anticorps ou une petite molécule qui va se fixer à l'antigène membranaire spécifique de la prostate, appelé PSMA (*Prostate Specific Membrane Antigen*). Cet antigène, présent à la surface des cellules cancéreuses, semble être d'autant plus abondant que la tumeur est agressive. Il constitue donc une cible idéale pour réaliser dans un premier temps une imagerie médicale, à l'aide du ligand Ga-68-PSMA. Cette première procédure permet de visualiser l'étendue de la tumeur de la prostate et de déterminer la dose du ligand Lu-177-PSMA à administrer au patient lors de la seconde procédure pour le traitement des cellules cancéreuses.

d'une augmentation d'un facteur trois dans les années à venir », souligne Bernard Ponsard. Heureusement, le réacteur BR2 est d'ores et déjà en mesure de faire face à ce boom. « *Nous avons vu venir cette demande et nous avons pu l'anticiper suffisamment pour entamer la construction de dispositifs supplémentaires nous permettant d'augmenter notre capacité d'irradiation. Nous sommes aujourd'hui tout à fait capables de répondre à la demande actuelle et même future.* » D'autres dispositifs d'irradiation sont en effet en cours de conception afin d'augmenter considérablement la capacité d'irradiation actuelle. Le BR2 n'a visiblement pas fini de nous étonner.

Cancer

Innové encore et toujours

Chaque jour, notre réacteur BR2 joue un rôle crucial dans la lutte contre le cancer au niveau mondial. Sa production de radio-isotopes médicaux permet de diagnostiquer quelque 250 000 patients par semaine, mais également de fournir des traitements moins invasifs. Nos chercheurs concentrent leurs efforts pour faire progresser la médecine nucléaire et faire reculer le cancer, qui peut tous nous toucher de près ou de loin à un moment donné de notre vie.

Sven Van den Berghe

Directeur de l'Institut Science des Matériaux nucléaires



ICERR : une reconnaissance d'exception pour le SCK•CEN

En septembre 2017, le SCK•CEN s'est vu décerner le certificat ICERR (*International Centre based on Research Reactors*) par l'Agence internationale de l'énergie atomique. Le centre de recherche belge est le troisième institut au monde à recevoir ce label prestigieux pour son excellence scientifique et ses infrastructures uniques mises au service des autres Etats membres de l'AIEA.

Lancée en 2014, la certification ICERR est attribuée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) aux instituts disposant de réacteurs de recherche et d'équipements technologiques de pointe. Ce projet vise à aider les États membres de l'AIEA, en particulier ceux qui ne disposent pas de réacteurs de recherche, à accéder rapidement à des infrastructures performantes, à mener des activités de recherche et développement, à renforcer leurs capacités dans le domaine nucléaire et à améliorer leur culture de sûreté nucléaire.



Un centre de classe mondiale

En septembre 2017, le SCK•CEN a eu le privilège de rejoindre le club très fermé des centres de recherche à se voir attribuer ce label ICERR, après la France et la Russie. Cette reconnaissance récompense l'expertise de haut niveau et les connaissances développées par le centre belge, ainsi que le caractère unique de ses infrastructures, à commencer par exemple par son réacteur de recherche BR2, l'un des plus puissants et flexibles de la planète.

« Cette reconnaissance est un honneur pour la Belgique », affirme Eric van Walle, directeur général du SCK•CEN. « Elle nous confie le statut de centre de recherche modèle pour les années à venir et nous permet de mettre notre expertise au service d'autres pays et d'intensifier nos partenariats à l'international. Nous sommes fiers que notre infrastructure, unique en son genre, puisse aider l'AIEA à atteindre ses objectifs. »

Nuclear Academy

Le SCK•CEN n'a certes pas attendu cette récompense pour partager le fruit de ses nombreuses années d'expérience. En 2017, via son Académie, quelque 1600 étudiants et professionnels ont suivi un programme d'éducation ou de formation au sein de cette académie. Près de cent étudiants, bachelier et master, ont également effectué un stage ou achevé une thèse dans les laboratoires du SCK•CEN. Enfin, 87 doctorants ont été choisis pour lancer leur projet de recherche au centre nucléaire de Mol.

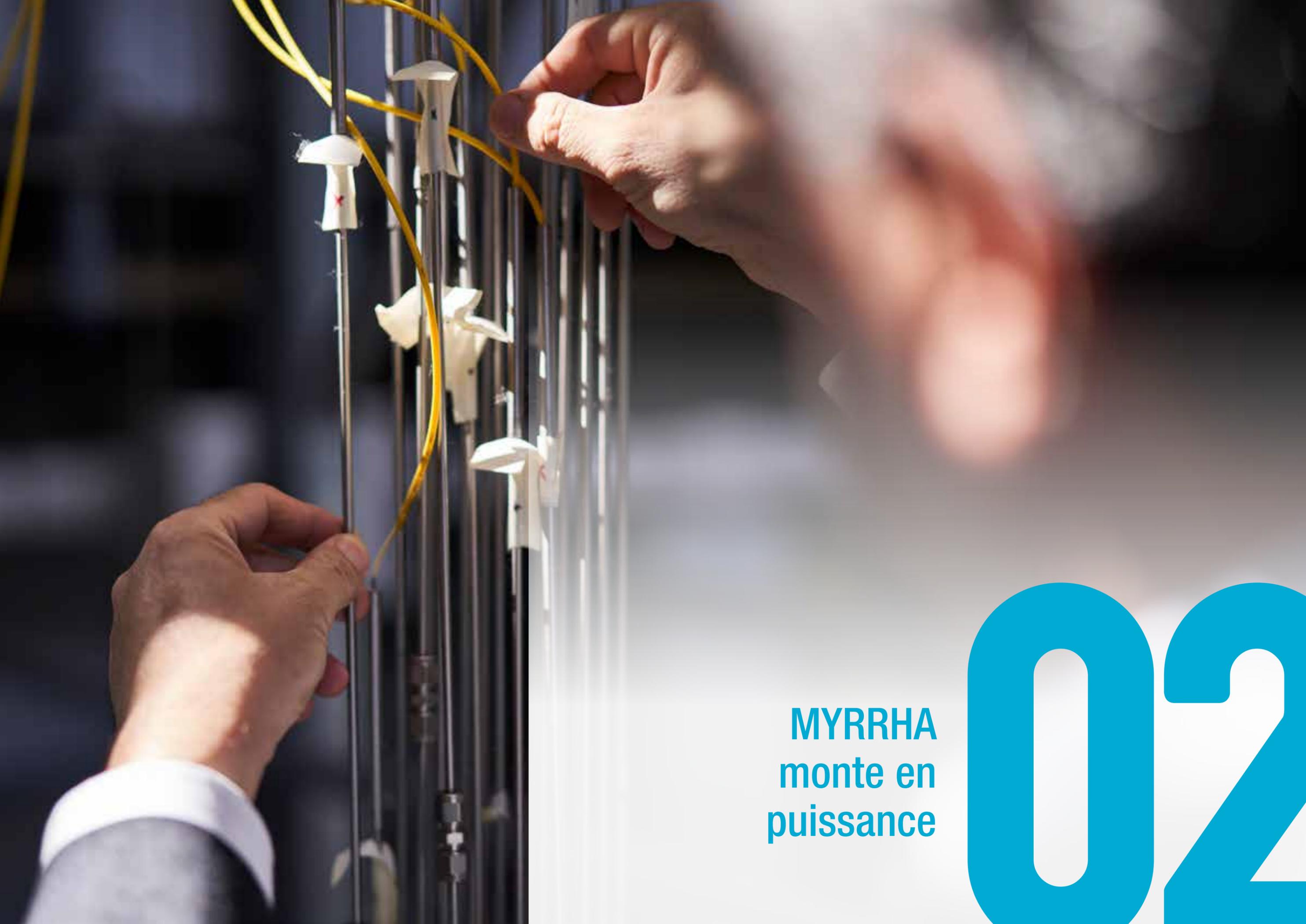
« Le certificat ICERR reconnaît également notre excellence dans l'éducation et la formation », ajoute Michèle Coeck, responsable de la SCK•CEN Academy. « Grâce à un large catalogue de formations personnalisées, nous transmettons l'expérience acquises via nos activités de R&D aux générations actuelles et futures. Nos installations nucléaires, et plus particulièrement nos réacteurs de recherche, représentent un atout indispensable à cet égard. » Dans le monde de la recherche nucléaire, la Belgique brille désormais d'une nouvelle aura.



« Nous sommes fiers que notre infrastructure, unique en son genre, puisse aider l'AIEA à atteindre ses objectifs. »



Willem Van de Voorde - Ambassadeur de Belgique en Autriche
Yukiya Amano - Directeur général de l'AIEA
Eric van Walle - Directeur général du SCK•CEN



MYRRHA
monte en
puissance

02

Le dossier complet de MYRRHA remis au gouvernement belge

2017 a été une année d'intense préparation pour l'équipe MYRRHA. Onze rapports, études et documents détaillés, ou *High Level Deliverables*, devaient en effet être soumis au gouvernement belge afin de faire franchir au projet une étape supplémentaire. Mission accomplie : les documents finaux sont entre les mains des experts fédéraux depuis décembre 2017. Au sein des équipes de MYRRHA, la satisfaction est au rendez-vous.

Généralement destinés aux parties prenantes externes à une entreprise, les *deliverables* sont la pierre angulaire de toute gestion de projet, les garants aussi de son caractère tangible, de sa visibilité et, au final, de sa réussite. C'est dans cet esprit que l'équipe MYRRHA s'est attelée à répondre en temps et en heure à la demande du gouvernement belge et à lui fournir au total onze *High Level Deliverables* sur l'état d'avancement de ce projet.

Des délais respectés

« Le premier deliverable consistait à décrire l'ensemble de l'accélérateur sur le plan technique, de 0 à 600 MeV (mégaélectronvolt), avec toutes les composantes de cette infrastructure. Nous sommes suffisamment avancés dans le design de cet accélérateur que pour pouvoir le décrire en détail », explique Hamid Aït Abderrahim, directeur du projet MYRRHA. « Une première version de ce deliverable a été communiquée au gouvernement en septembre 2017. Nous lui avons adjoint une mise à jour à la fin de l'année dernière. » Autre dossier remis au MYRRHA Ad Hoc Group (MAHG), le comité de suivi du projet mis en place par le gouvernement en 2010, celui concernant les infrastructures liées à la première phase du projet. « Ce rapport a également été terminé au mois de septembre 2017 et a été rentré dans les délais prévus », se félicite Hamid Aït Abderrahim. Un plan commercial et financier pour l'ensemble du projet (lire article page 32) était également demandé par les autorités belges et a été bouclé en juin de 2017. « Nous l'avons ensuite soumis pour contrôle et analyse à la Banque nationale. »



« Ce travail a été un effort assez intense. Il a nécessité l'implication de tous et de nombreuses réunions avec le comité de suivi du MAHG. Mais le fait d'avoir pu remplir cet objectif à temps est une grande satisfaction pour l'ensemble de notre équipe. »



700
JOBS/AN



6.900.000.000
DE VALEUR AJOUTÉE



150
COLLABORATEURS



30
NATIONALITÉS



38
DOCTORANTS

DÉCHETS NUCLÉAIRES : LES ATOUTS DE MYRRHA CONFIRMÉS

On le sait, la Belgique étudie très sérieusement le stockage en couches géologiques profondes des déchets radioactifs, notamment ceux issus de nos centrales nucléaires. Ce stockage est inévitable. Mais la réduction notable du volume et de la radio-toxicité de ces éléments s'avérerait un avantage certain pour notre pays. C'est justement une des ambitions phares du projet MYRRHA. « Ce qui est intéressant pour le gouvernement et le MAHG, c'est de voir dans quelle mesure nous pourrions, si cette

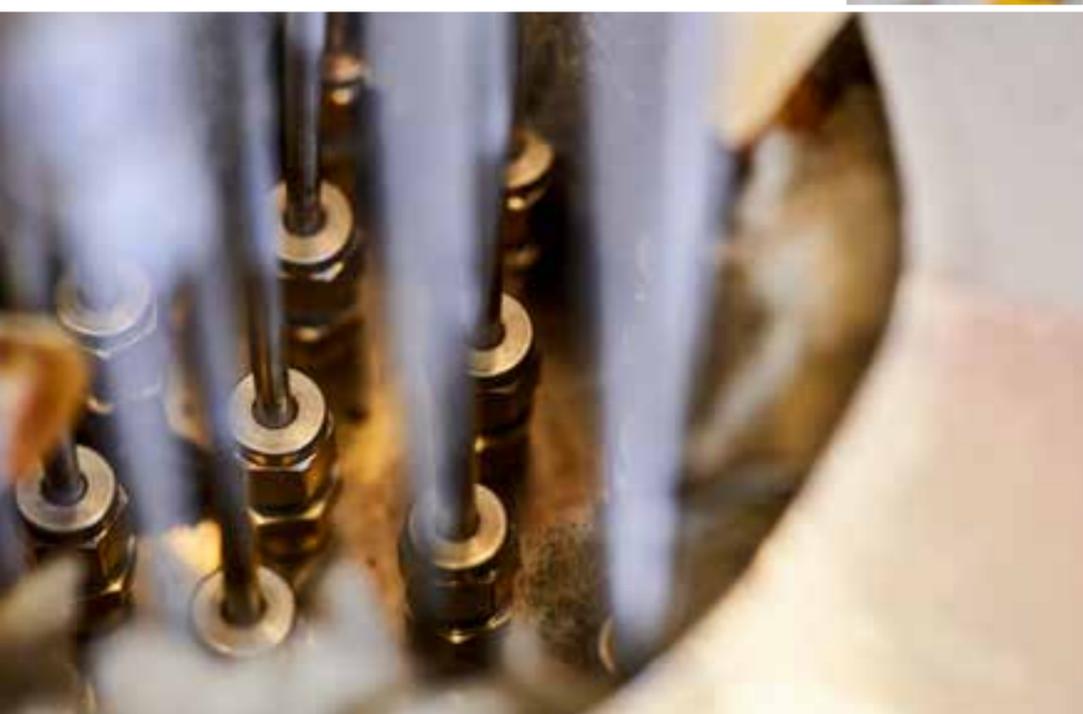
technologie était appliquée aux déchets nucléaires, avoir un impact sur la réduction du stockage géologique dont la Belgique aura besoin », détaille Hamid Aït Abderrahim. « Nos équipes ont réalisé cette étude et elles ont pu montrer que le recours à MYRRHA permettrait de réduire le volume des déchets à stocker en profondeur. Le volume de ce stockage géologique serait réduit d'un facteur 5, ce qui est loin d'être négligeable. »

Avis de l'autorité de sûreté nucléaire

La partie des *delivrables* couvrant la sûreté du réacteur et les futures autorisations de construction et d'exploitation de cette infrastructure était également très attendue du MAHG. « Nous devons obtenir un premier avis de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN) sur la faisabilité de l'installation du point de vue de l'autorisation nucléaire. Vu l'enjeu, cette partie du dossier a demandé un travail conséquent à nos équipes. Mais nous avons finalement pu remettre tous les éléments nécessaires à l'autorité de sûreté qui nous a transmis son avis en novembre dernier. Et pour nous, cet avis est une bonne nouvelle. En effet, l'autorité de sûreté se montre satisfaite des éléments que nous lui avons fournis. Elle ne voit pas non plus à ce jour d'obstacles majeurs qui pourraient empêcher le projet d'obtenir son *licensing* », explique encore le directeur du projet MYRRHA.

Objectif phase 1

« La version finale de l'ensemble de ces *delivrables* de haut niveau a été remise au gouvernement le 15 décembre 2017 », poursuit Hamid Aït Abderrahim. « Ce travail a été un effort assez intense. Il a nécessité l'implication de tous et de nombreuses réunions avec le comité de suivi du MAHG. Mais le fait d'avoir pu remplir cet objectif à temps est une grande satisfaction pour l'ensemble de notre équipe. Nous sommes heureux, car ce travail va permettre à notre gouvernement de décider de la suite du projet MYRRHA avec tous les éléments nécessaires en main », tient à préciser celui qui préside à la destinée de ce projet inédit.



MYRRHA se dote d'un solide plan commercial et financier

Le projet MYRRHA possède désormais un plan commercial et financier courant jusqu'en 2067. C'est le plus complet et le plus détaillé réalisé jusqu'ici. Rendu au comité de suivi du projet établi par le gouvernement belge, ce plan a aussi été présenté avec succès à de nombreux investisseurs potentiels. Voilà qui est de bon augure pour la suite du projet MYRRHA.

La levée de fonds de tout projet d'envergure qui se respecte est toujours accompagnée d'un plan financier et commercial à destination des investisseurs potentiels. L'infrastructure de recherche MYRRHA ne fait pas exception à la règle. Dans la perspective des prochaines étapes du financement public de MYRRHA, un tel cadre budgétaire a d'ailleurs été réalisé par l'équipe du centre à la demande du gouvernement belge. Ce plan a été remis au MYRRHA Ad Hoc Group (MAHG), le comité de suivi du projet mis en place par le gouvernement en 2010, conjointement à dix autres rapports de haut niveau, appelés *High-Level Deliverables* (lire article page 28).

Estimation complète des coûts

« Ce n'est pas le premier business plan réalisé pour MYRRHA, mais c'est de loin le plus complet », explique Stijn Proost, Stakeholder Manager de MYRRHA. « Tous les détails du projet y ont été rassemblés, non pas

uniquement pour la période de construction comme dans les versions précédentes, mais pour la durée totale de vie des infrastructures, ce qui contribue à la robustesse du résultat final. »

Une tâche pas nécessairement aisée vu le caractère innovant du projet MYRRHA en lui-même.

« Ce qui fait la spécificité de MYRRHA c'est sa vision à long terme : il s'agit d'une infrastructure qui est prévue pour être en activité jusqu'en 2067. Il n'est pas si facile de se projeter aussi loin dans le futur », souligne encore Stijn Proost. « Autre défi de taille : procéder à une estimation des coûts, sachant que MYRRHA est le premier projet du genre. Le calcul des coûts, qui s'est fait en étroite collaboration avec l'équipe scientifique et technique, a demandé un travail conséquent. Enfin, il nous fallait également estimer les sources de financement, en tenant compte des coûts de construction, mais aussi des coûts d'exploitation année après année », poursuit Stijn Proost.

Un plan solide et détaillé

Outre le gouvernement belge, le plan commercial et financier de MYRRHA entame d'ores et déjà une autre étape tout aussi essentielle. Objectif principal : susciter l'intérêt d'investisseurs potentiels. « Vous ne pouvez pas demander un financement à hauteur de 1,6 milliard d'euros sans donner de garanties et sans expliquer en détail à quoi cet argent va servir et quelles vont être les différentes étapes du projet », souligne très logiquement Stijn Proost. Certains pays, comme la France, l'Allemagne ou le Japon, sont en tout cas intéressés. « S'y ajoutent aussi une série d'investisseurs privés ou institutionnels comme la BEI (Banque européenne d'investissement), plus susceptibles encore d'exiger un plan financier solide et détaillé. »



Des investisseurs potentiels

Ce travail de recherche de partenaires a d'ailleurs déjà débuté. Depuis 2017, le plan commercial et financier est utilisé pour présenter et défendre MYRRHA au cours de plus de cinquante réunions de décideurs nationaux et internationaux. Et avec un succès certain. « Il a notamment pu être évalué par certaines firmes privées actives dans le secteur, ainsi que par des acteurs purement financiers, comme l'organisation flamande PMV (ParticipatieMaatschappij Vlaanderen) », ajoute Stijn Proost. « Les retours sur la qualité du plan sont très positifs. Les interlocuteurs financiers et les capitaines d'industrie avec qui nous avons pu échanger reconnaissent l'utilité sociétale du projet. »

Expertise Belge

Un projet unique d'envergure internationale

Si MYRRHA est né en terres belges, il n'a cessé depuis ses débuts d'alimenter les collaborations aux quatre coins du monde. Les défis relevés par MYRRHA, que ce soit la gestion des déchets hautement radioactifs ou l'innovation en médecine nucléaire, en font une véritable plaque-tournante pour toute la R&D internationale. La mise sur pied d'un consortium international d'investisseurs permettra d'intensifier encore davantage le rôle crucial joué par la Belgique au niveau mondial.

Peter Baeten

Directeur général adjoint



MYRRHA phase 1 : objectif 100 MeV

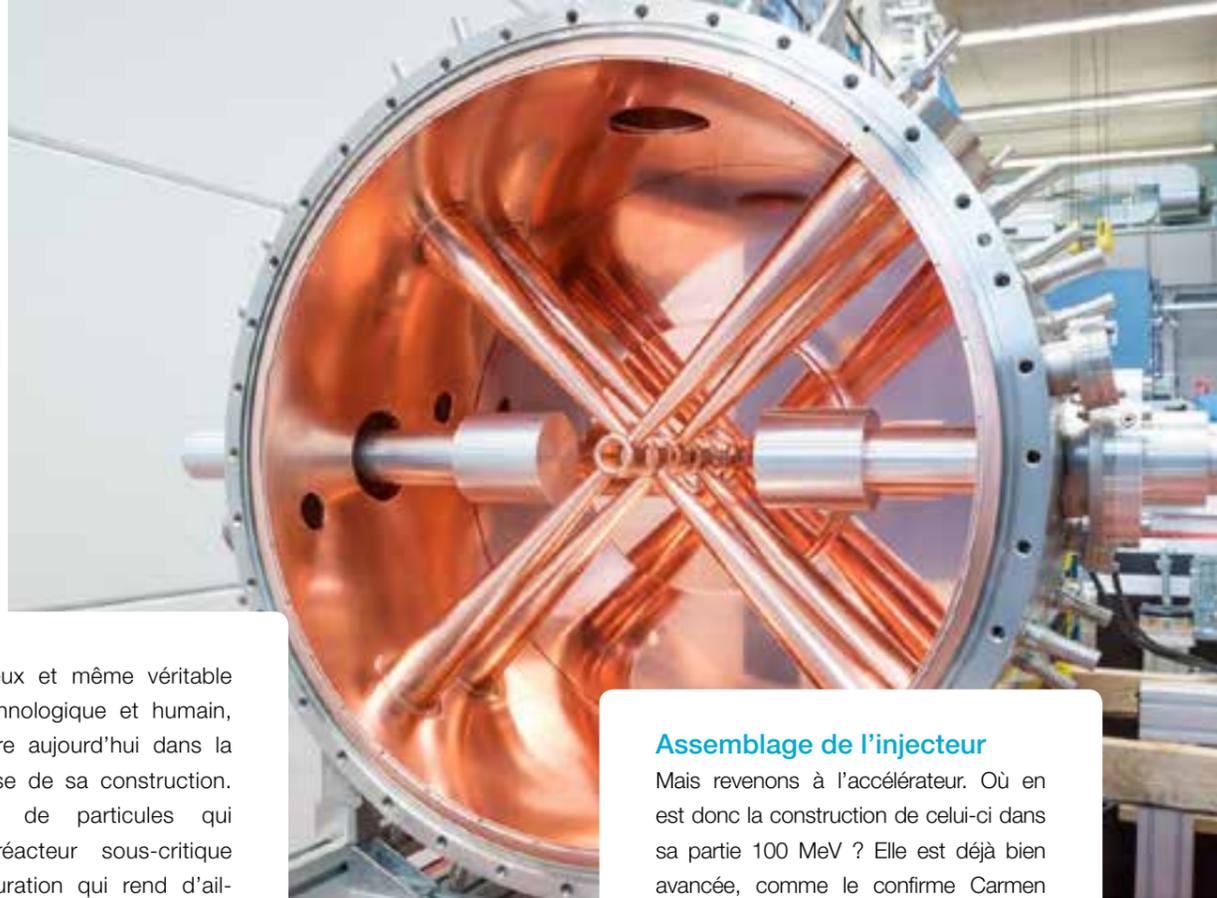
La construction de l'infrastructure de recherche MYRRHA entre dans une étape décisive. Dans cette première phase du projet, l'accélérateur de protons qui pilotera le futur réacteur nucléaire de MYRRHA va être amené à une énergie de 100 MeV. En parallèle, les experts développeront des stations de recherche qui seront couplées à cet accélérateur afin de produire des radio-isotopes médicaux de nouvelle génération et de faire de la recherche fondamentale et appliquée entre autres sur les matériaux pour la fusion nucléaire.

Projet ambitieux et même véritable challenge technologique et humain, MYRRHA entre aujourd'hui dans la première phase de sa construction. L'accélérateur de particules qui pilotera le réacteur sous-critique – une configuration qui rend d'ailleurs ce projet unique au monde – se construit en effet étape par étape, afin de réduire les risques technologiques et d'étaler les investissements. Une stratégie de bon sens.

MINERVA, une infrastructure à part entière

« La phase 1 prévoit de construire la partie de l'accélérateur jusqu'à une énergie de 100 MeV (mégaélectronvolt). Le but premier est de tester la fiabilité de cette partie du système », nous explique Carmen Angulo, chef du projet MINERVA. « Cette première phase comporte également toute la recherche-développement portant sur le réacteur, ainsi que la partie de l'accélérateur qui va jusque 600 MeV. »

Mais la construction de cette première section de l'accélérateur ne servira pas uniquement à évaluer la fiabilité future de l'accélérateur de MYRRHA. Le faisceau de protons produit par cette partie de l'accélérateur sera très concrètement utilisé à la recherche sur les matériaux pour la fusion nucléaire et la production de radio-isotopes innovants. « Au cours de la phase 1, nous allons en effet dévier une partie du faisceau produit par l'accélérateur vers des cibles qui permettront de produire de nouveaux radio-isotopes pour des expériences en physique et en médecine. Baptisée MINERVA, cette infrastructure composée de l'accélérateur et des cibles représente un jalon important de MYRRHA », précise Carmen Angulo.



Assemblage de l'injecteur

Mais revenons à l'accélérateur. Où en est donc la construction de celui-ci dans sa partie 100 MeV ? Elle est déjà bien avancée, comme le confirme Carmen Angulo. « À Louvain-la-Neuve, nous sommes occupés à installer la première partie de l'accélérateur, ce que l'on appelle l'injecteur. Cette étape est très importante. C'est au niveau de l'injecteur que se jouent tous les aspects liés à la faisabilité de la fiabilité du projet », explique notre chef de projet.

Les prototypes des seize cavités accélératrices de l'injecteur (lire encadré) ont été conçus en collaboration avec l'institut allemand IAP (*Institut für Angewandte Physik*) de l'université de Francfort qui possède un savoir-faire réputé dans ce domaine, et avec sa spin-off Bevatech GmbH. Les deux premières cavités réalisées pour le SCK·CEN sont actuellement en train d'être testées à l'IAP.

« À Louvain-la-Neuve, nous sommes occupés à construire la première partie de l'accélérateur, ce que l'on appelle l'injecteur. Cette étape est très importante. C'est au niveau de l'injecteur que se jouent tous les aspects liés à la faisabilité de la fiabilité du projet MYRRHA. »

UN ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE

Le projet MYRRHA consiste essentiellement en un réacteur sous-critique alimenté par une source externe de neutrons. Cette source est créée en bombardant une cible de plomb-Bismuth liquide au centre du cœur du réacteur avec le faisceau intense de protons généré par un accélérateur de particules de haute puissance. Pour atteindre la fiabilité maximale, les experts de MYRRHA ont opté pour un accélérateur linéaire dit linac. L'accélérateur a une longueur de près de 300 mètres afin que le faisceau de protons puisse atteindre l'énergie de 600 MeV.

La concentration et l'accélération du faisceau sont assurées par une succession d'aimants et de cavités, dont une partie est refroidie à l'hélium liquide afin d'obtenir la supraconduction dans le matériau. Grâce à cette supraconduction, les pertes énergétiques de l'accélérateur sont drastiquement diminuées. À l'extrémité du tunnel de l'accélérateur, le faisceau est dévié à l'aide d'aimants jusqu'au sommet de la salle du réacteur, où il est à nouveau dévié pour aboutir verticalement, par le haut, au centre du cœur du réacteur.

Un cahier des charges très technique

En attendant, on s'affaire aussi au sein du SCK·CEN pour concevoir et préparer la construction des bâtiments qui abriteront les différents éléments de la première phase de MYRRHA. Sur ce point aussi, les choses sont en bonne voie d'avancement. « Le design préliminaire des bâtiments destinés à abriter la partie 100 MeV de l'accélérateur et les systèmes auxiliaires sont prêts. Nous avons lancé les appels d'offres pour trouver un partenaire industriel chargé de préparer le design détaillé et la phase de construction. Une fois notre choix arrêté, nous transmettrons notre cahier des charges à l'entreprise concernée. Il s'agit d'un cahier des charges très technique et nous devons être certains que nos exigences seront respectées. D'autre part, le design des bâtiments des cibles est également en cours et sera clôturé d'ici la fin 2018 », souligne Carmen Angulo. Pas de doute, la phase 1 de MYRRHA est en bonne voie !



Plongée
exploratoire
aux confins de
l'univers



Du continent blanc à la planète rouge

Nous rapprocher un peu plus de Mars en posant éprouvettes et microscopes à bord de la Station polaire Princesse Elisabeth, c'est le pari audacieux qu'a relevé Sarah Baatout, chercheuse au SCK•CEN, avec toute son équipe de recherche. Elle s'est immergée pendant un mois dans des conditions extrêmes de confinement pour parvenir à mieux décrypter le comportement de notre système immunitaire dans l'espace. Des données essentielles pour faire avancer la recherche tant spatiale que médicale.

Rabiologiste, maman de deux enfants, patineuse hors pair et professeur d'université : Sarah Baatout fourmille d'idées et de projets. Fin 2017, la chercheuse belge a réalisé l'un de ses rêves : rejoindre la station polaire Princesse Elisabeth pour y poursuivre ses recherches sur les vols spatiaux. Sélectionnée aux côtés d'une vingtaine de scientifiques belges et internationaux, elle s'est envolée pour l'Antarctique le 16 décembre dernier, après une longue préparation scientifique, physique et psychologique.

Cheffe de l'unité de radiobiologie du SCK•CEN, Sarah a aussi quelque peu la tête dans les étoiles ! Depuis de nombreuses années, elle étudie avec ses collègues du laboratoire l'impact des rayonnements cosmiques et des conditions extrêmes (confinement, stress, isolement) sur le système immunitaire humain. Ces recherches permettent de mieux comprendre le fonctionnement du corps d'un astronaute dans l'espace et de mettre au point des applications capables, un jour, de faire voler l'être humain vers Mars.



ÉPICES ET SEL À GOGO !

Une des particularités étonnantes du froid intense qui règne en Antarctique est de quasi neutraliser goût et odorat. « On ne sent pratiquement rien. C'est incroyable », relate Sarah. « C'est à peine si l'on parvient à discerner l'odeur du kérosène près des véhicules. Pour le goût c'est pareil. Sur la station, il faut utiliser cinq ou six fois plus d'épices qu'à l'ordinaire. Et plus de sel aussi. Ce serait immangeable ici ! »

« J'espère avoir pu transmettre aux jeunes ma passion pour les sciences et faire naître des vocations ! »

La station polaire, simulateur spatial

Mais quel rapport entre son récent et glacial séjour polaire et un futur départ vers la quatrième planète du système solaire ? « C'est vrai que cela a l'air paradoxal, mais ce n'est pas du tout le cas », s'exclame Sarah Baatout. « Presque toutes les agences spatiales ont une plate-forme en Antarctique. Ce continent est l'endroit rêvé pour y mener des expériences. Les conditions de vie y sont comparables à celles que l'on retrouve dans une station spatiale. On y retrouve une combinaison d'isolement, de confinement extrême, de manque d'espace. Vous êtes loin de votre famille et de toute autre présence humaine. Les vents soufflent jusqu'à 240 km/h et la température peut descendre jusqu'à -90°C en certains endroits ! C'est très dur. Vous n'avez presque pas d'intimité non plus. Pour dormir, on partage un petit conteneur à plusieurs personnes. Tout ça induit un stress psychologique et physiologique comparable à celui que vivent des astronautes », décrit Sarah Baatout avec conviction.

Bilan médical complet

C'est donc vers ces conditions glaciales que Sarah est partie durant un mois entier. « C'était heureusement l'été là-bas. Il y a des jours où il a fait extrêmement beau, et même chaud, et d'autres où la météo était tellement exécrable que nous avons dû rester confinés à l'extérieur. Toute sortie était interdite », se remémore notre chercheuse et désormais aventurière. Mais les rigueurs de la vie antarctique ne l'ont pas empêchée de poursuivre ses importantes expériences, que du contraire.

« Un des objectifs de notre étude était de mesurer la réaction du système immunitaire face aux conditions de vie polaires. Dans l'Antarctique, les organismes sont généralement immunodéprimés durant la première semaine. C'est un des points communs entre un séjour au pôle et dans l'espace. À l'aide d'analyses sanguines régulières, nous avons vérifié le temps que met l'organisme à récupérer ses capacités immunitaires. Nous avons également procédé à un monitoring cardiaque des membres de la station, ainsi qu'à un bilan oxydatif, avec des analyses de salive et d'urine, qui sont d'excellents marqueurs du stress. »

Médicaments de l'espace

Que l'on ne s'y trompe pas. Toutes ces recherches qui rendent possibles les vols habités contribuent aussi à faire avancer la médecine. Exemple avec la protonthérapie, née entre autres de la recherche spatiale. Lors de sa mission polaire, la chercheuse du SCK·CEN s'est d'ailleurs aussi fixée un autre objectif : tester la trousse médicale qui équipera l'astronaute de demain. Et peut-être, qui sait, les hôpitaux terrestres d'après-demain. « Nous avons avec nous une vingtaine de médicaments que les astronautes emmènent avec eux quand ils partent en orbite », ajoute Sarah. « Nous les avons exposés sur le toit de la station polaire pour étudier leur comportement en présence de doses massives d'UV. En Antarctique, il fait jour quasi continuellement en cette saison. L'idée est de voir à quelle vitesse ces médicaments se dégradent lorsqu'ils sont soumis aux effets du rayonnement cosmique et du froid extrême, pour pouvoir calculer ensuite les doses à administrer aux astronautes. C'est d'autant plus important que l'efficacité de certains médicaments varie lorsqu'on se trouve dans l'espace. Certains sont plus efficaces, d'autres moins. »

« J'ai côtoyé des gens hors du commun, j'ai vécu des moments de partage et de complicité comme on en a peu dans notre vie de tous les jours. C'était unique. »

Une expérience inoubliable

« L'expérience d'un mois là-bas n'est que la partie visible de l'iceberg. Ce projet a demandé un immense travail d'équipe. Mes collègues ont dû faire preuve de beaucoup de créativité et de flexibilité pour faire de cette expérience un succès scientifique », tient absolument à préciser Sarah, qui tire de ce séjour beaucoup de fierté. « Il a fallu changer nos protocoles pour les adapter aux contraintes de sécurité, réduire notre matériel au strict minimum, car le poids que nous pouvions emporter était limité. J'ai dû apprendre à réparer moi-même ce qui pouvait l'être pour les mêmes raisons. La préparation a été vraiment énorme, mais quelle satisfaction. » Et quelle aventure ! De son séjour sur le continent blanc, Sarah garde en effet un souvenir inoubliable. « Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions de nos analyses, mais ce que j'ai vécu personnellement là-bas est fantastique. J'ai côtoyé des gens hors du commun, j'ai vécu des moments de partage et de complicité comme on en a peu dans notre vie de tous les jours. C'était unique. »

PROJET ÉDUCATIF

Pour cette chercheuse insatiable multipliant les projets éducatifs, partager son aventure avec les jeunes était une évidence. « J'ai réussi à obtenir jusqu'à 3 heures de connexion Internet par jour », s'enthousiasme Sarah. « J'ai profité de ce temps pour expliquer ma mission à des classes de primaire et secondaire via vidéoconférence. Entre quatre et six écoles par jour. J'espère avoir pu transmettre ma passion pour les sciences et faire naître des vocations ! »

Des cyanobactéries « belges » à la conquête de l'espace

Le 15 décembre 2017, la fusée SpaceX-13 décollait du Centre spatial Kennedy en Floride en direction de la station spatiale internationale ISS. À son bord, le tout premier bioréacteur développé par les microbiologistes du SCK•CEN, en collaboration avec l'Agence spatiale européenne, le consortium scientifique MELISSA et l'entreprise QinetiQ. Cette expérience unique marque une étape essentielle vers un système de production autonome d'oxygène et de nourriture pour les futurs vols habités de longue durée. Et un petit pas de plus vers la tant convoitée planète Mars...

La Belgique, une porte vers les étoiles ? Oui, ou du moins pour l'instant, vers la proche banlieue terrestre. Depuis de nombreuses années, le SCK•CEN s'illustre dans le domaine de la recherche spatiale et envoie, sur base régulière, des expériences en orbite autour de notre planète bleue. Mais la dernière en date marque sans doute un tournant dans la conquête d'un grand rêve : voyager en direction de Mars et qui sait, peut-être un jour plus loin encore.

Les défis de l'espace

En attendant, de grands progrès doivent encore être accomplis avant de poser ne fût-ce qu'un pied sur la planète rouge. « *Le principal challenge pour y arriver est de procurer suffisamment de nourriture et d'eau aux équipages qui partiront pour ce genre de voyage. Il ne sera en effet plus possible de les ravitailler en vol comme cela se fait aujourd'hui* »,

souligne Natalie Leys, responsable du *Space Life Science Program* du SCK•CEN. Mais d'autres sacrés défis attendent aussi les futurs astronautes en partance pour le cosmos, dont la quasi-absence de gravité ou encore les radiations cosmiques délétères.

« *Aussi longtemps que nous restons sous le bouclier de la magnétosphère terrestre, nous sommes protégés de leurs effets sur notre organisme. Mais ce n'est plus le cas lorsqu'on s'aventure au-delà* », fait remarquer

la microbiologiste. La dose quotidienne de rayonnements ionisants dans l'espace est ainsi nettement supérieure à celle que l'on mesure sur terre. Dans la Station spatiale internationale (ISS), pourtant en partie protégée par la magnétosphère, elle est en général 200 fois plus élevée.

Compost spatial

La route vers Mars et les étoiles serait-elle définitivement fermée ? C'est mal connaître l'ingéniosité des scientifiques travaillant sur les programmes de vols habités. « *Les agences spatiales imaginent par exemple des solutions qui vont permettre aux équipages de produire leur eau, nourriture et oxygène en régénérant leurs déchets. C'est exactement le but que s'est fixé l'agence spatiale européenne avec le projet MELISSA, dont le SCK•CEN est l'un des cofondateurs* », explique encore Natalie Leys. Mais comment faire ? Impossible d'emporter un potager et sa réserve de terreau : trop lourd et trop encombrant !

« *L'idée est plutôt de reproduire une partie de l'écosystème aquatique terrestre en se servant de bioréacteurs* »



« *Nous avons dû concevoir un bioréacteur capable de fonctionner dans les conditions exigeantes de l'espace. C'était un véritable défi scientifique et technologique, mais nous y sommes parvenus et en sommes très fiers !* »

sophistiqués pour alimenter des serres de production. Il s'agit de produire une sorte de compost spatial. Nous comptons nous servir de micro-organismes pour pouvoir recycler les déchets organiques et inorganiques en éléments nutritifs pour les plantes. Certains étant comestibles, ils pourront aussi être consommés par les astronautes », détaille Natalie Leys.

Premier bioréacteur de l'espace

Depuis le vol du spationaute belge Frank De Winne, plusieurs cultures de micro-organismes ont été envoyées dans l'espace par notre centre. « Il s'agissait jusqu'alors d'expériences moins complexes », nuance Natalie Leys. Mais en décembre 2017, après dix ans de recherches intenses, le SCK•CEN a franchi un pas supplémentaire en envoyant à bord de la station ISS non plus une « simple » boîte de Pétri, mais un véritable bioréacteur sophistiqué, contenant de la spiruline, une cyanobactérie des plus intéressantes (voir ci-contre). « Il s'agit d'une première européenne et sans doute mondiale ! », s'enthousiasme Natalie Leys. « La culture en question était nourrie de façon active et contrôlée à distance. L'expérience a duré cinq semaines durant lesquelles les spationautes ont aussi pu récolter des échantillons. L'objectif était de tester le comportement de la spiruline et la production d'oxygène en présence de microgravité et de radiations spatiales. Nous avons donc dû concevoir un bioréacteur capable de fonctionner dans ces conditions exigeantes. C'était un véritable défi scientifique et technologique, mais nous y sommes parvenus et nous en sommes très fiers ! »



Une récolte inattendue

Les premiers résultats sont en tout cas à la hauteur de l'enjeu et certains ont même surpris les scientifiques du Space Life Science Program : « La production d'oxygène est quasi similaire à celle qui aurait pu avoir lieu sur terre. La récolte finale s'est même avérée supérieure à ce que nous avions prévu, même si nous ne savons pas encore pourquoi », se réjouit Natalie Leys. « Certaines choses doivent bien entendu encore être améliorées, mais nous savons aujourd'hui que ce type de bioréacteur fonctionne. C'est un premier jalon important ! »



LA SPIRULINE, FUTUR ALIMENT DES ASTRONAUTES ?

Facile à produire, capables de transformer rapidement la matière organique et inorganique en nutriments et en biomasse, certains micro-organismes représentent des candidats idéaux pour alimenter le futur garde-manger des astronautes. Parmi eux, les cyanobactéries du genre *Arthrospira*, mieux connues sous le nom de spiruline, font figure d'élèves-modèles. « Elles ont l'avantage de se développer par photosynthèse, comme les plantes », explique Natalie Leys. « Mais à l'inverse des végétaux classiques, elles peuvent être cultivées sur des surfaces très réduites. Elles consomment aussi le CO₂ de l'atmosphère et le recyclent en oxygène, ce qui est très utile dans l'espace clos d'un vaisseau spatial. Elles sont de surcroît parfaitement comestibles et s'avèrent une importante source de protéines. En plus, elles sont particulièrement résistantes aux rayonnements cosmiques ! »

Innovation

Le SCK•CEN repousse les limites de l'innovation

Nous voyageons aux quatre coins du globe, traçons les particules de l'atmosphère via des modèles et considérons même l'espace comme notre terrain de jeu. Nous explorons littéralement les frontières pour les repousser afin de rendre possible l'impossible. En innovant de plus belle. Seul ou en équipe, mais toujours avec cet enthousiasme illimité, cette curiosité brûlante et ce souci constant de travailler au service de la société.

Hildegarde Vandenhove

Directeur de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité



À la poursuite de l'énigmatique neutrino stérile

Né d'une collaboration entre la Belgique, la France et le Royaume-Uni, un détecteur d'un nouveau type a été construit au SCK•CEN afin de tenter de démontrer l'existence du neutrino stérile. Cette particule élémentaire, dont l'existence reste pour l'instant théorique, pourrait constituer l'essentiel de la mystérieuse « matière noire », un des composants majeurs de l'univers.

Quarks, leptons, bosons... sont quelques-uns des noms qui forment l'étrange et fascinant bestiaire des particules élémentaires, celles qui constituent les éléments les plus fondamentaux de l'univers. Parmi ces particules, les neutrinos constituent une catégorie un peu à part. Presque indétectables, ils n'interagissent quasiment pas avec la matière. Chaque seconde, des milliards de neutrinos issus du soleil traversent ainsi notre corps sans même nous affecter.

L'existence et les caractéristiques de trois sortes de neutrinos ont pu être déterminées. Mais certaines anomalies de mesures constatées ces dix dernières années laissent supposer l'existence d'une quatrième sorte de neutrino : le neutrino stérile. Et celui-ci pourrait s'avérer encore plus étonnant que les autres : il n'interagirait absolument pas avec la matière et serait donc impossible à détecter avec notre technologie actuelle.

À la chasse aux neutrinos

Depuis 2013, un consortium réunissant le SCK•CEN et d'autres centres de recherche belges, français et britanniques, met au point une technologie de détection des neutrinos novatrice. Baptisé SoLid (*Search for oscillation with a Lithium-6 detector*), cet ambitieux projet a pour objectif principal de répondre à une des questions fondamentales de la physique actuelle des particules : existe-t-il des neutrinos stériles ?

Le neutrino stérile étant par définition indétectable, les scientifiques n'ont d'autre choix que de procéder de manière détournée, en scrutant ses effets indirects. « Nous savons que des neutrinos sont générés en masse par les réacteurs nucléaires. Nous allons donc mesurer avec une précision jamais atteinte le

flux de neutrinos émis par le réacteur de recherche BR2 du SCK•CEN, pour vérifier si nous trouvons des écarts, des anomalies, par rapport à ce que nous devrions mesurer, ce qui laisserait supposer l'existence de neutrinos stériles », explique Lars Ghys, l'un des physiciens du centre de recherche belge chargés de cette étude.

Un détecteur très SoLid

D'autres expériences du même type n'ayant pas nécessairement été concluantes, les scientifiques du consortium SoLid ont fabriqué un détecteur de neutrinos d'un genre tout à fait nouveau et plus exactement un détecteur d'antineutrinos. L'ensemble pèse 1,6 tonne et est composé de petits cubes de plastique de 5cm sur 5. Il y en a au total pas moins de 12 800.



Lars Ghys et Bernard Coupé
membres de l'équipe SoLID

BR2 SUPERSTAR

Le choix du réacteur de recherche BR2 du SCK•CEN est loin d'être un pur hasard. « L'inconvénient à effectuer des mesures près d'un réacteur nucléaire est que nous devons tenir compte d'un rayonnement de fond plus important, du fait de la présence du réacteur ou du rayonnement cosmique. Cela perturbe les calculs. Mais comparé à d'autres réacteurs de recherche, le BR2 bénéficie d'un rayonnement de fond parmi les plus faibles au monde, ce qui le rend quasiment unique pour mener à bien notre étude », souligne Lars Ghys. Pour réaliser ces tests, un caisson composé de polyéthylène et d'eau, pesant au total 35 tonnes, a été installé dans le BR2 pour isoler le détecteur du rayonnement de fond.

Les neutrinos qui traversent ce matériau provoquent une réaction, une sorte d'éclair de lumière très bref : « C'est ce signal que nous sommes capables de détecter et de localiser avec une précision qui n'a encore jamais été atteinte. La fine segmentation de notre détecteur, avec ses 12 800 cubes, le rend unique au monde. Elle lui confère une sensibilité spatiale inégalée », souligne Lars Ghys.

Une meilleure compréhension de l'univers

En cours depuis décembre 2017 à Mol, cette expérimentation a déjà livré de nombreux terabytes de données. Elles sont en ce moment analysées et interprétées. Les premiers résultats scientifiques sont attendus dans les mois qui viennent. Plusieurs années de recherche seront cependant nécessaires pour arriver à une conclusion.

Mais rêvons un peu. Sur quoi pourrait bien déboucher la découverte d'un nouveau type de particule élémentaire ? Certaines applications pratiques sont-elles envisageables ? « Nous ne le savons pas encore, mais on pourrait par exemple imaginer se servir de cette nouvelle technologie de détecteur pour lutter contre la prolifération des armes nucléaires. Les neutrinos voyageant sans encombre sur de grandes distances, on pourrait les utiliser pour détecter les différentes matières radioactives produites dans un réacteur particulier sans devoir s'en approcher de très près », imagine Bernard Coupé, chercheur au SCK•CEN et membre de l'équipe SoLid.

Mais c'est dans le domaine de la recherche fondamentale que la découverte du neutrino stérile pourrait se révéler la plus révolutionnaire. « La démonstration de leur existence serait d'une grande portée dans le domaine de la physique des particules. Les neutrinos stériles pourraient également être un constituant essentiel de la matière noire qui compose une partie de l'univers. Cette matière n'est pas visible, mais nous savons qu'elle existe ! », s'enthousiasme Lars Ghys.

« La fine segmentation de notre détecteur, avec ses 12 800 cubes, le rend unique au monde. Elle lui confère une sensibilité spatiale inégalée. »



A la pointe
du progrès
technologique

04

Mieux protéger les yeux du personnel médical

L'expertise du SCK•CEN en dosimétrie est régulièrement soulignée au niveau international. Entre 2015 et 2017, le centre belge de recherche s'est vu confier le pilotage d'Euraloc, la plus importante étude européenne jamais menée sur les cataractes induites par rayonnements ionisants en milieu médical. Alors que les résultats de cette étude viennent de sortir, le SCK•CEN planche en parallèle sur le développement d'un modèle exclusif de dosimètre à destination du personnel médical.

La recherche médicale en radioprotection progresse sans arrêt. Dernier exemple en date, la prévention de la cataracte radio-induite, dans laquelle le SCK•CEN vient d'ailleurs de s'illustrer. On le sait depuis longtemps, les rayonnements ionisants peuvent altérer le cristallin, la partie la plus radiosensible de l'œil, et entraîner un processus évolutif d'opacification pouvant conduire à une cataracte.

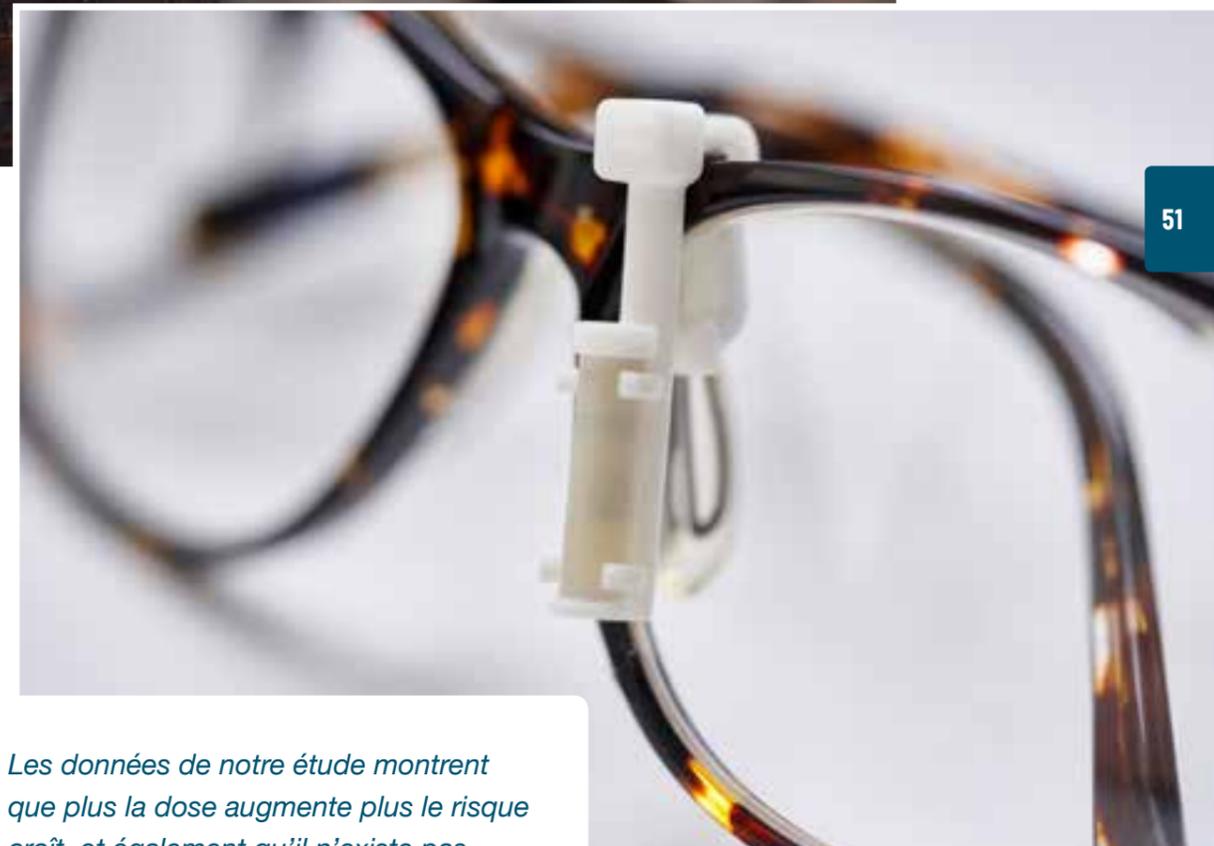
« Jusque récemment, l'absence de risque était généralement admise en dessous d'un certain seuil d'exposition professionnelle. Mais la cataracte radio-induite s'avère sans doute beaucoup plus fréquente qu'on ne l'estimait. C'est ce que démontrent plusieurs études épidémiologiques récentes ainsi que des recherches sur modèle animal », explique Lara Struelens, responsable de l'unité de recherche sur les applications dosimétriques.

En 2012, l'ICRP (*International Commission on Radiological Protection*), dans ses recommandations de prévention de la cataracte, révisait d'ailleurs radicalement le seuil d'exposition pour le cristallin, le faisant passer à 0,5 Gy (Gray) au lieu de 2 Gy précédemment. Elle ramenait par ailleurs aussi, dans le cadre d'une exposition professionnelle, la limite annuelle d'exposition de 150 à 20 mSv (millisievert).

Une première mondiale

L'adoption de ces nouveaux seuils laissait cependant une question sans réponse satisfaisante, celle de la relation entre la dose et l'effet, en présence de faibles doses. « La qualité des données récoltées jusqu'alors n'avait pas permis de déterminer à partir de quelle dose on peut redouter une opacification du cristallin. C'est la raison pour laquelle a été lancée l'étude européenne Euraloc, sous la coordination du SCK•CEN », ajoute Lara Struelens.

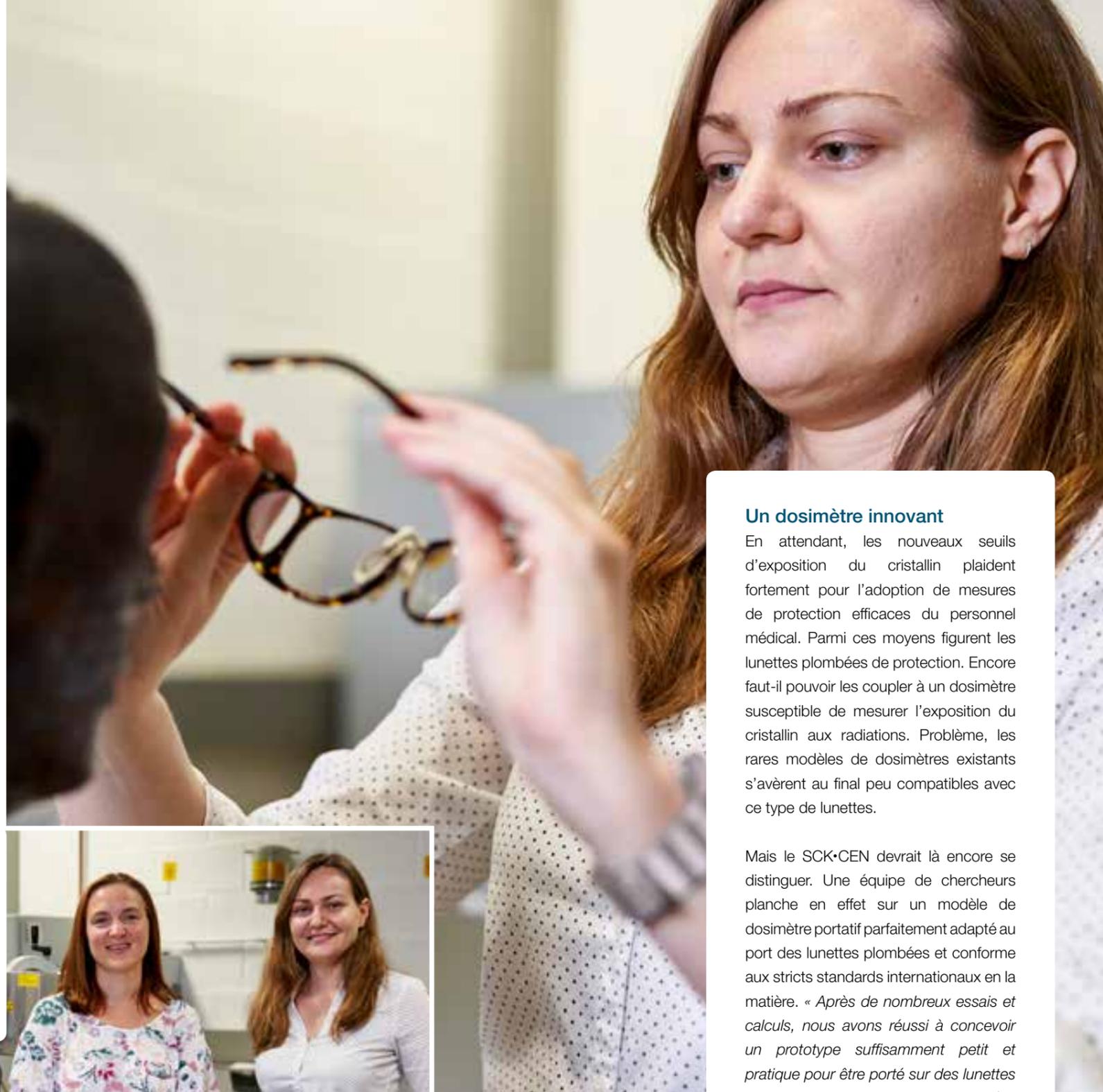
Pour cette étude épidémiologique, la plus large jamais menée sur ce sujet et sur ce groupe, 393 cardiologues interventionnels ont été recrutés dans onze pays et suivis selon un seul et même protocole. Pilotés par le SCK•CEN, des calculs de dosimétrie ont aussi été effectués. Il s'agissait, là aussi, d'une première, »



« Les données de notre étude montrent que plus la dose augmente plus le risque croît, et également qu'il n'existe pas de seuil en dessous duquel il n'y aurait aucun risque. »

puisque l'exposition aux rayonnements ionisants au niveau du cristallin n'est pas enregistrée par défaut et que les données individuelles des cardiologues n'étaient donc pas toutes disponibles. Un groupe témoin de 243 personnes non exposées a en outre été mis sur pied. Mais pourquoi des cardiologues interventionnels ? « Parmi le personnel médical, ce sont eux qui sont le plus largement exposés aux radiations ionisantes », souligne encore Lara Struelens.

Les résultats de cette étude Euraloc sont aujourd'hui connus. « Nous avons pu montrer que le groupe de cardiologues interventionnels court un risque supérieur d'être atteint par un certain type d'opacification partielle du cristallin. Concernant la relation dose-effet, les données de notre étude montrent aussi que plus la dose augmente plus le risque croît et également qu'il n'existe pas de seuil en dessous duquel il n'y aurait aucun risque d'opacification. Mais ces résultats ne remettent pas nécessairement en cause les seuils qui viennent d'être fixés par l'ICRP. La plupart des opacifications que nous avons mises en évidence sont en effet de grade 1, et n'entraînent aucune déficience visuelle. Le processus qui mène d'une opacification partielle à une cataracte est en outre encore mal connu, et fait toujours l'objet de recherches. Il est donc un peu tôt pour se prononcer. Il faudra d'autres données », précise la chercheuse.



Lara Struelens en Edilaine Honorio da Silva, responsable de l'unité de recherche et sa collaboratrice

Un dosimètre innovant

En attendant, les nouveaux seuils d'exposition du cristallin plaident fortement pour l'adoption de mesures de protection efficaces du personnel médical. Parmi ces moyens figurent les lunettes plombées de protection. Encore faut-il pouvoir les coupler à un dosimètre susceptible de mesurer l'exposition du cristallin aux radiations. Problème, les rares modèles de dosimètres existants s'avèrent au final peu compatibles avec ce type de lunettes.

Mais le SCK•CEN devrait là encore se distinguer. Une équipe de chercheurs planche en effet sur un modèle de dosimètre portable parfaitement adapté au port des lunettes plombées et conforme aux stricts standards internationaux en la matière. « Après de nombreux essais et calculs, nous avons réussi à concevoir un prototype suffisamment petit et pratique pour être porté sur des lunettes de radioprotection, sans que cela altère ses performances. Il est actuellement en phase de test pratique auprès de cardiologues interventionnels », se félicite Edilaine Honorio da Silva, doctorante en charge de ce projet au SCK•CEN. Il pourrait bientôt aussi être testé au sein de centrales nucléaires. Si la phase de test s'avère concluante, ces prototypes passeront à l'étape suivante : la commercialisation.

Société

Être au plus près de ses besoins

50% du personnel en plus en 25 ans, plus de 50 % de niveau universitaire, 46 nationalités, 80 PHD's : voilà le résultat d'une stratégie ambitieuse entamée il y a 25 ans. Innover sans cesse pour répondre aux défis de la société et mettre nos connaissances et développements au profit de tous – citoyens et professionnels. Avec, plus que jamais, cette nécessité de communiquer sur les nombreux atouts de la science nucléaire et la diversité de ses applications, de l'énergie au médical en passant par l'environnement.

Christian Legrain

Secrétaire général



Sur la piste du ruthénium

Fin septembre 2017, une très faible pollution radioactive au ruthénium-106 était mesurée dans l'atmosphère européenne. D'où pouvait-elle bien provenir ? Fort de son expertise en matière de radionucléides, le SCK•CEN s'est lancé sur la trace de ce nuage radioactif en collaboration avec l'IRM. Les conclusions de cette étude inédite ont été révélées en décembre de la même année, avec une probable localisation à la clé.

Chacun connaît le nuage de Tchernobyl qui, contrairement à la légende, ne s'est jamais arrêté aux frontières de la France parce qu'au-delà de la France, il était bien trop faible pour être mesuré. Plus récemment, une autre pollution assez énigmatique a fait couler beaucoup d'encre. Fin septembre – début octobre 2017, des traces radioactives de ruthénium-106, et dans une moindre mesure de ruthénium-103, sont détectées par le réseau du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE) et certains réseaux européens de contrôle de la radioactivité.

« C'était anormal, car on ne détecte habituellement pas cet isotope dans l'atmosphère. Le ruthénium-106 est un produit de fission. S'il avait été le résultat d'un accident dans un réacteur nucléaire ou d'un test nucléaire, nous aurions dû mesurer également du césium et de l'iode radioactif. Ce qui n'était pas le cas. Il s'agissait donc d'autre chose. La provenance de cette pollution était également inconnue à l'époque », se remémore Christophe Gueibe, chercheur au SCK•CEN.

Un cas de figure intéressant

Très vite, l'IRSN, l'institut français de radioprotection et de sûreté nucléaire, fait en tout cas savoir que les concentrations mesurées « n'ont eu aucune conséquence sur la santé humaine ou sur l'environnement ». En parallèle, l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) confirme pour sa part « qu'aucune hausse des concentrations en ruthénium n'avait été constatée en Belgique ». Tout danger pour la population étant écarté, le mystère reste cependant entier. Quel type d'événement pouvait bien être à l'origine de ce fameux

nuage radioactif et quel pouvait en être la provenance ? La question passionne les chercheurs du SCK•CEN, qui se lancent sur la piste de cette fuite inexpliquée de Ru-106. « Cela fait partie de notre rôle d'information auprès des autorités », fait remarquer Pieter De Meutter, le doctorant à la base de cette étude inédite. « Mais il s'agissait aussi d'un cas de figure scientifiquement intéressant, une manière de faire progresser nos connaissances sur ces faibles pollutions radioactives dans l'atmosphère, dont la source est souvent difficile à déterminer. »



Christophe Gueibe et Pieter De Meutter, experts radiologiques

Une source fort probable

Armés des données issues de l'IMS - le système de surveillance international mis sur pied dans le cadre du TICE -, de modèles de transport et de dispersion atmosphérique et de données météorologiques numériques provenant du centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), les chercheurs du SCK•CEN, aidés par des experts de l'Institut Royal Météorologique (IRM), pistent la trace du Ru-106 en Europe et à travers le monde.

« Nous avons notamment essayé de déterminer la source de cette pollution à partir des stations où elle avait été détectée mais aussi à partir de celles où elle n'a pas été détectée. Nous avons établi une carte (voir ci-contre) qui reprend les corrélations entre nos simulations et les observations faites sur le terrain. Plus les valeurs sont faibles, plus la corrélation entre simulations et données est forte, et plus il est probable que l'on se trouve à l'emplacement de la source. Il existe bien sûr toujours une part d'incertitude, mais ce que nos calculs montrent malgré tout, c'est que la pollution au Ru-106 a toutes les chances de provenir d'une région de Russie où se trouvent justement plusieurs installations nucléaires », détaille Pieter De Meutter.

« Il existe bien sûr toujours une part d'incertitude, mais nos calculs montrent malgré tout que la pollution au ruthénium-106 a toutes les chances de provenir d'une région de Russie où se trouvent plusieurs installations nucléaires. »



Des enseignements supplémentaires

Mais bien d'autres informations ont pu être récoltées à l'occasion de cette étude innovante et inédite. « Nous avons aussi pu déterminer que le rejet s'est probablement déroulé entre le 23 et le 26 septembre. Celui-ci était à la base sans doute élevé, autour de 1 pétabecquerel, ce qui aurait pu entraîner des mesures de protection pour la population locale selon les normes nationales en vigueur. Si un tel rejet avait eu lieu en Belgique, des mesures de protection de la population locale auraient en tout cas probablement été nécessaires. Sur la base de cette localisation, nous avons aussi pu effectuer de nouveaux calculs qui nous ont permis d'évaluer la quantité de Ru-106 libérée dans l'atmosphère, et de reconstituer son trajet sur l'Europe et les autres parties du globe. »

Cette étude ainsi que les observations des réseaux européens confirment que les concentrations mesurées en Europe étaient bien en dessous du niveau constituant un risque pour la santé ou l'environnement.

MYRRHA teste ses aiguilles fissiles avec succès

De nombreuses fées se penchent sur le berceau de MYRRHA. Parmi elles, les chercheurs qui participent au programme européen MAXSIMA jouent un rôle crucial. Des résultats de leurs essais et analyses dépendent en effet la sûreté de MYRRHA et son homologation future. C'est dans ce cadre qu'a eu lieu le tout premier test portant sur la solidité des aiguilles de combustible qui alimenteront ce même réacteur.

Après cinq années de minutieux préparatifs, une toute première aiguille fissile similaire au modèle que devrait utiliser MYRRHA a été irradiée dans l'Annular Core Pulse Reactor de l'Institute for Nuclear Research (ICN) de Pitesti, en Roumanie. Objectif de cet essai : déterminer le niveau d'énergie au-dessus duquel une déformation de l'aiguille pourrait se produire. Ses résultats contribueront à définir les marges de sûreté du futur réacteur de MYRRHA.

Première irradiation

Le réacteur de recherche roumain est conçu pour pouvoir supporter des injections de puissance courtes mais élevées. « Les tests qui ont lieu actuellement consistent à insérer une aiguille de combustible dans le réacteur et à l'exposer à un flash de réactivité, de manière à provoquer une montée rapide en température des pastilles de combustible, de l'ordre de 2000°C en une milliseconde. L'expérience prévoit ensuite de contrôler l'intégrité du gainage et les déformations qu'il a pu subir suite à la dilatation thermique des pastilles. L'idée est de vérifier que le design des segments que nous avons conçu est capable de résister à une subite montée en puissance. Le but final étant de déterminer les marges de sûreté pour le fonctionnement du réacteur de MYRRHA », détaille Rémi Delville, chercheur au SCK•CEN et membre du programme MAXSIMA.



Des résultats pour bientôt

Suite au succès du premier test, d'autres essais ont été menés avec succès dans le réacteur de l'ICN. « Une dizaine de tests ont été prévus au total et 80 % ont déjà été réalisés. Tout devrait être terminé en octobre 2018. Le but est de faire monter l'énergie déposée jusqu'à approcher ou atteindre la rupture du gainage, tout en évitant sa fusion ou celle des pastilles », ajoute Brian Boer.

Une série d'analyses sont faites directement sur place, en Roumanie. Les aiguilles de combustible seront à terme renvoyées au SCK•CEN pour des examens plus poussés. « En plus d'une analyse fine de la déformation du gainage, nous vérifierons dans quelle mesure le combustible s'est fragmenté et dilaté suite à la montée en température. Les résultats seront publiés dans la littérature ouverte car ils peuvent être intéressants pour les réacteurs de génération 4, dont il existe plusieurs projets dans le monde. »

« Les résultats seront intéressants pour les réacteurs de génération 4, dont il existe plusieurs projets dans le monde. »

Rémi Delville et Brian Boer, responsables du projet MAXSIMA

UN DESIGN MAISON

Les aiguilles fissiles utilisées en Roumanie ont une particularité : elles ont été entièrement conçues par le SCK•CEN, qui plus est avec des contraintes particulièrement sévères. Les tolérances prévues pour les dimensions intérieures des gaines devaient par exemple être inférieures à 10 microns, et celles des pastilles de combustible de l'ordre du micron. Le projet MAXSIMA a aussi été l'occasion de relancer un laboratoire de production de combustibles fissiles au sein du SCK•CEN, un domaine dans lequel il a longtemps été pionnier.



Chiffres clés

05

820
TRAVAILLEURS

206 ♀
614 ♂

36%
UNIVERSITAIRES

13,98
ANCIENNETÉ
MOYENNE

87
DOCTORANTS

46
NATIONALITÉS

ACTIF DANS

61

PAYS



2017

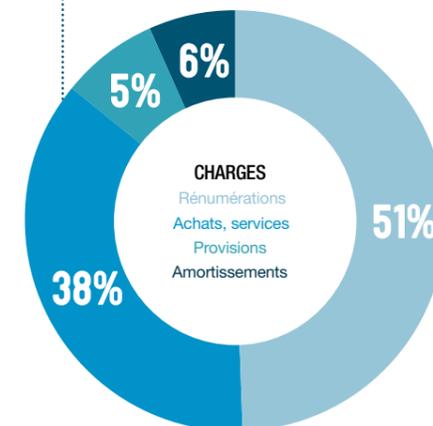
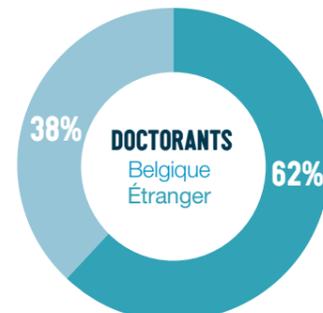


24
THÈSES ET
MÉMOIRES

30
DOCTORATS
ENTAMÉS

92
FORMATIONS
POUR TIERS

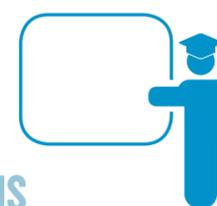
1599 PARTICIPANTS



837

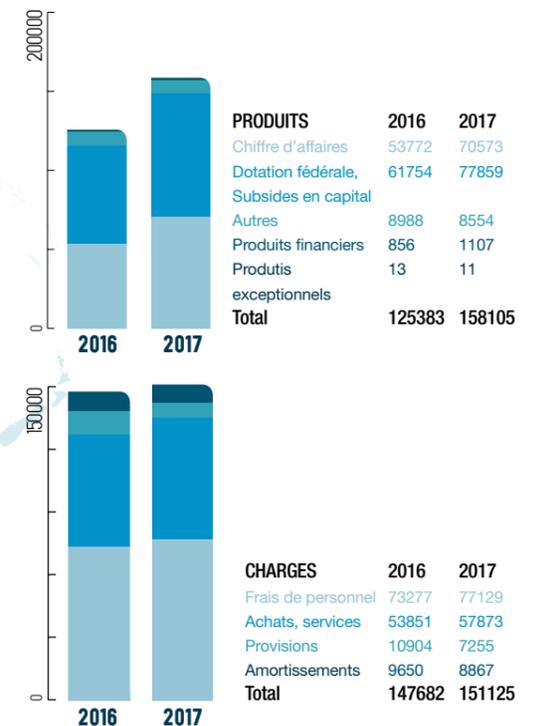


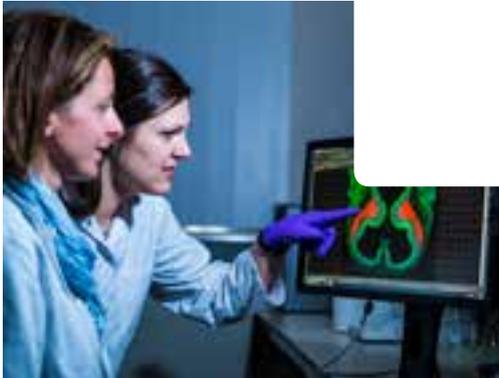
PUBLICATIONS
SCIENTIFIQUES & PRÉSENTATIONS



2016-2017

EVOLUTION DU BUDGET (KEUR)





SCK • CEN

STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

l'essentiel
2017

SCK•CEN

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire

Le SCK•CEN est une fondation d'utilité publique ayant un statut de droit privé, sous la tutelle du Ministre belge de l'Energie.

Laboratoires

Boeretang 200
BE-2400 MOL

Siège social

Avenue Herrmann-Debroux 40
BE-1160 BRUXELLES

Editeur responsable

Eric van Walle
Directeur général

Rédaction

Didier Dillen
Groupe d'expertise Communication

Photographie

Klaas De Buysser
klaasdebuysser.be
SCK•CEN collection de photos

Graphisme

Annelies Van Calster
Celine Glas
leftlane.be

Impression

Albe De Coker
Hoboken

Copyright © 2018 – SCK•CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2018). Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable du SCK•CEN.



20
17

2017

SCK·CEN

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire

65 ans d'expérience en science et technologie nucléaires

En tant que centre de recherche pour les applications pacifiques de la radioactivité, le SCK·CEN constitue un maillon incontournable de notre société. Le Centre effectue de la recherche orientée vers le futur et développe des technologies durables. Par ailleurs, il se charge d'organiser des formations et met à disposition ses services et son expertise. Fort de 750 collaborateurs, le SCK·CEN constitue l'un des plus importants centres de recherche de Belgique.

Trois thèmes de recherche caractérisent nos activités :

- La sûreté des installations nucléaires
- La gestion durable des déchets radioactifs
- La protection de la population et de l'environnement contre le rayonnement ionisant

www.sckcen.be



[@SCKCEN](https://twitter.com/SCKCEN)

