

sck cen

L'essentiel 2019

---

**Les milliers de  
dimensions  
de demain**





## 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, la recherche en radio-isotopes médicaux et leur production, 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.

L'essentiel 2019

---

# Les milliers de dimensions de demain

Qu'il s'agisse du développement de meilleures thérapies contre le cancer, de la sûreté de réacteurs nucléaires, de mesures de la radioactivité, d'accélérateurs de particules ou de fusion nucléaire, le SCK CEN contribue à l'avenir de notre société grâce à ses recherches scientifiques.



## « L'avenir compte des milliers de dimensions »

Une interview d'Eric van Walle, directeur général du SCK CEN

**2019 présageait un avenir meilleur. En Belgique, nous avons marché pour le climat, aidé les réfugiés et pulvérisé le record de Viva for Life, l'action de solidarité annuelle de la RTBF. Comment le SCK CEN s'inscrit-il dans ce paysage ?**

« Depuis les années 50, notre regard se tourne vers l'avenir. A l'origine, notre Centre de recherche a été créé pour développer l'énergie nucléaire en Belgique mais très rapidement nous avons élargi notre connaissance et notre expérience dans divers domaines nucléaires. Ce faisant, nous nous concentrons toujours sur les possibilités d'applications orientées vers l'avenir de l'atome et de son noyau. Avec l'un des plus petits éléments constitutifs de l'univers, nous voulons faire la plus grande différence possible pour la société. »

**Votre nouvelle devise est « *Exploring a better tomorrow* ». Pourquoi ce choix ?**

« Cette idée est venue il y a quelques années lorsque nous avons cartographié les scénarios futurs de notre Centre de recherche. Comment le monde juge-t-il notre expérience ? Que pensent les gens de ce que nous faisons ici ? Comment pouvons-nous nous engager plus visiblement dans la société ? La réponse à cette dernière question fut pour nous très claire. Notre travail a plus d'utilité sociale que nous le pensons et que d'autres pensent, et cela tout le monde devrait le savoir. La pertinence sociétale a été et reste le fil conducteur de tous nos projets. Après tout, l'évo-

lution de la science montre que nous pouvons de plus en plus représenter quelque chose pour les personnes chez qui un cancer est diagnostiqué. Nous voulons continuer à investir dans des solutions qui rendent notre monde plus durable avec les ingrédients nucléaires. C'est donc notre ambition d'assurer la connaissance nucléaire et cela pour les générations à venir. »

**Une promesse noble, mais le SCK CEN peut-il aussi la réaliser ?**

« Je peux répondre positivement à cela, comme nous l'avons encore prouvé en 2019. Je pense, par exemple, à notre réacteur de recherche BR2. L'année dernière, nous avons entamé tous les préparatifs pour augmenter le nombre de jours de fonctionnement de 160 à 210 jours en 2020. La demande de radio-isotopes médicaux et de silicium dopé augmente et nous sommes heureux d'apporter notre pierre à l'édifice pour en assurer l'approvisionnement. En 2019, nous avons aussi démarré la production de terbium-161, un radio-isotope prometteur parmi les radio-isotopes thérapeutiques.

Dans le domaine des matériaux de structure, tout le monde était sur le pont. Nous avons fourni des solutions pour le fonctionnement sûr des centrales existantes et futures, nous avons qualifié des matériaux de structure du réacteur d'essai de fusion ITER. En ce qui concerne la qualification des matériaux de structure de l'infrastructure de recherche MYRRHA, nous avons passé un nombre

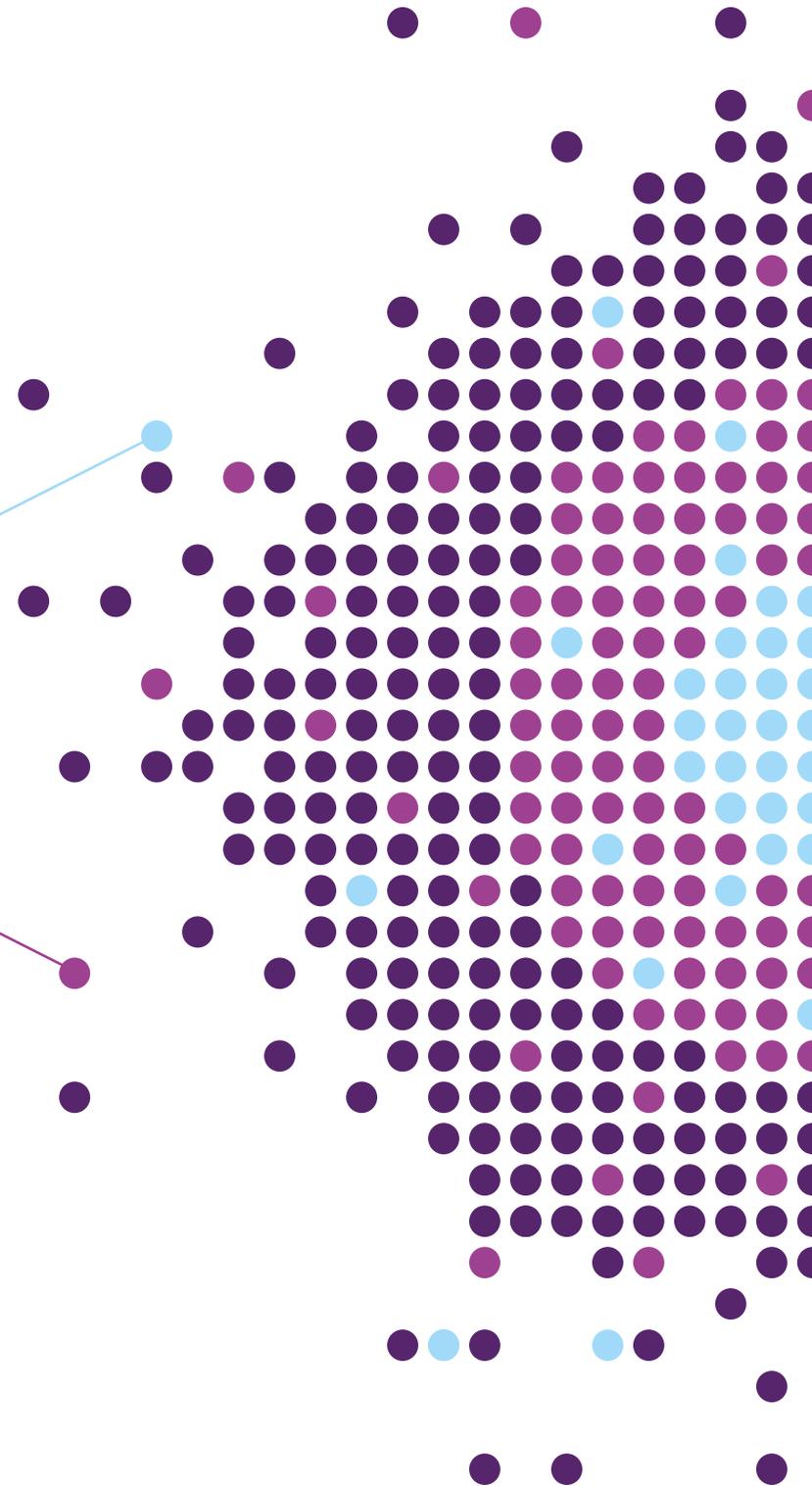
record d'heures sur les tests de corrosion. De cette façon, nous rapprochons MYRRHA de son objectif qui est de contribuer à l'optimisation de la gestion des déchets radioactifs. »

**Les jours de fonctionnement supplémentaires du réacteur de recherche BR2 prouvent immédiatement leur utilité. La production commerciale d'électricité grâce à la fusion nucléaire sera possible au plus tôt en 2100. L'échelle de temps n'est pas la même.**

La science est une question de temps. Il faut du temps pour penser, laisser mûrir les idées, puis les tester à de nombreuses reprises. Rien ne doit être laissé au hasard. Parfois, nous devons ajuster un concept et reprendre les tests de qualification qui ont été faits. Toutes les solutions sur lesquelles nous travaillons ne peuvent être d'application demain. L'avenir compte des milliers de dimensions. »

**Parcourez ce rapport annuel et découvrez les milliers de dimensions de demain.**

# Demain



10 | Le SGK CEN a investi massivement dans la sécurité physique

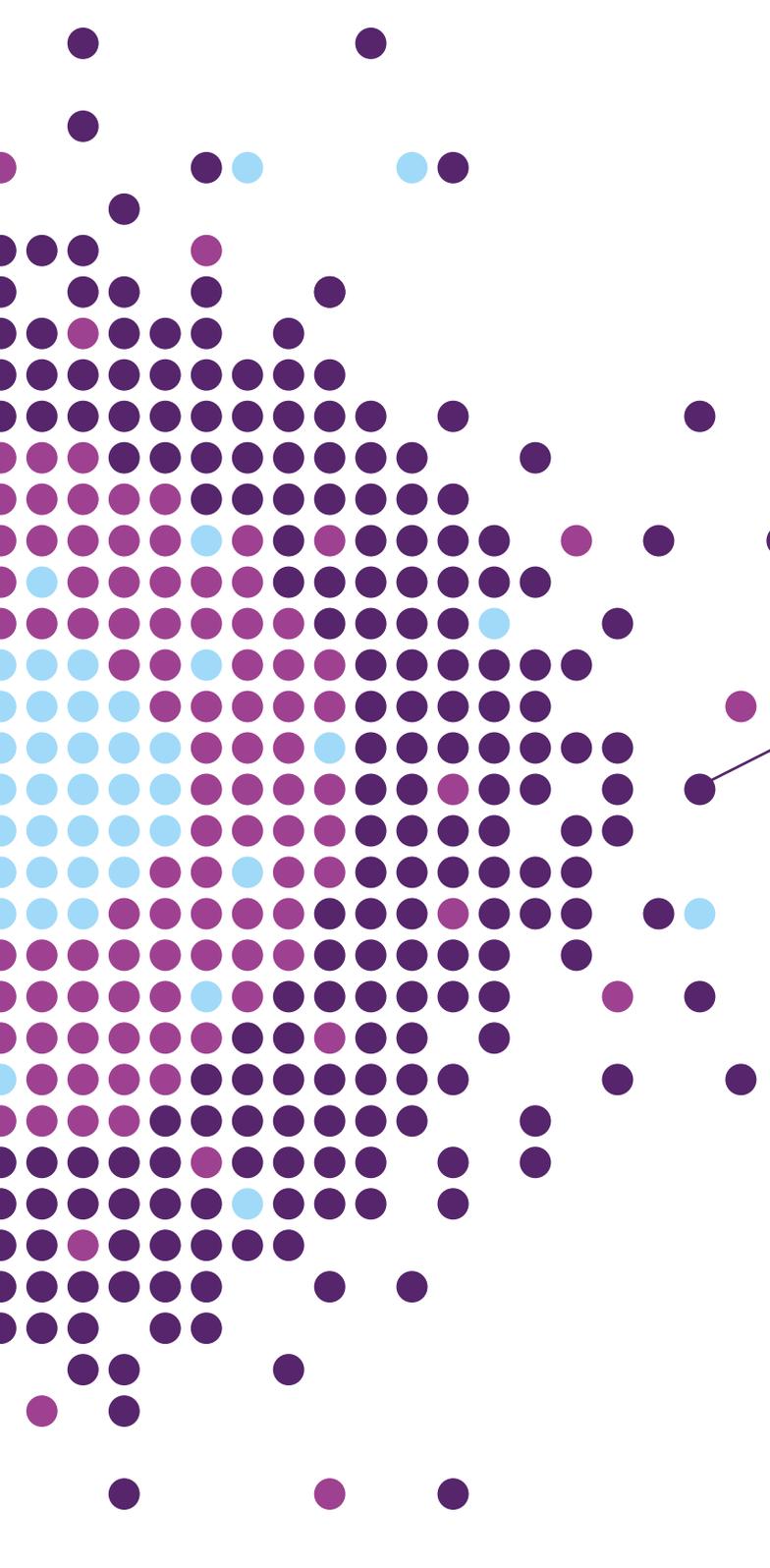
14 | Plus que jamais, le secteur médical peut compter sur le BR2

## 2021 / 2026

20 | Une nouvelle technologie permet de mesurer la dose de rayonnement sans dosimètre

24 | Le SGK CEN démonte l'installation qui a considérablement réduit l'empreinte du démantèlement du BR3

28 | Le terbium-161 : un radio-isotope émergent dans la lutte contre le cancer



## 2027 / 2050

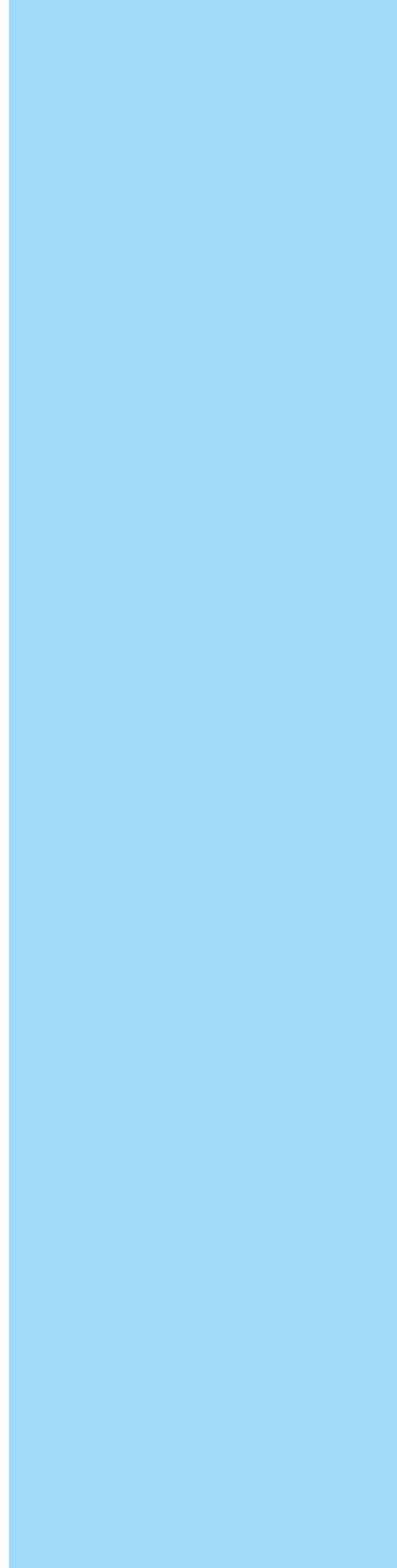
34 | La nouvelle génération de radio-isotopes médicaux imminente

38 | Des essais de corrosion concluants sur des matériaux de MYRRHA

42 | Comment nous préparons-nous pour des voyages dans l'espace de plus en plus lointains ?

46 | La fusion nucléaire : le soleil en boîte

50 | Chiffres clés





# Demain

## Détecter, ralentir, neutraliser

Le SCK CEN a investi massivement dans la sécurité physique

**Capteurs de vibrations, caméras intelligentes, sas individuels, contrôles d'accès, un personnel de surveillance bien entraîné et une force d'intervention (*response force*). Au cours des cinq dernières années, le SCK CEN a considérablement accru la sécurité physique. En 2019, le Centre de recherche a obtenu une reconnaissance officielle de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire. « Les nouvelles mesures font du SCK CEN un des sites les mieux sécurisés du pays », affirme le responsable de la sécurité Benny Carlé.**





Il y a cinq ans, les voyageurs de De Lijn étaient encore surpris lorsque leur bus passait juste devant le réacteur BR2 sur la Boeretang. Un an plus tard, la Boeretang était définitivement fermée à la circulation et De Lijn n'était plus autorisé à emprunter cette route. Les habitants de Mol et de Dessel ont dû changer leurs itinéraires habituels. La fermeture de la Boeretang faisait partie d'une série de mesures de sécurité mises en œuvre par le SCK CEN dans le cadre de la sécurisation des sites nucléaires.

Une première vague de sécurisation a été initiée après les attentats du 11 septembre, une deuxième vague après les attentats de Paris et de Bruxelles. « Les attentats du 11 septembre ont été une véritable révélation », rappelle Benny Carlé, responsable de la sécurité au SCK CEN. « Ce n'est que lorsque la menace terroriste est devenue aigue que l'idée est née : il y a nécessité de créer un cadre réglementaire global. » Sous la pression diplomatique des États-Unis, un cadre international a été établi. Le 17 octobre 2011, un Arrêté Royal portant sur la sécurité physique des matières et des installations nucléaires a été publié au Moniteur Belge. D'autres pays ont mis en place des systèmes comparables.

### Une sécurité renforcée

En 2006, le SCK CEN a mis en œuvre un système de sécurité additionnel pour le réacteur de recherche BR2. Ces développements ont été suivis et évalués par l'ambassade des États-Unis. « L'Arrêté Royal du 17 octobre 2011 met plutôt l'accent sur des zones concentriques et initie un système de *défense en profondeur*. Par exemple, alors que dans le passé nous regardions le réacteur BR2 dans son intégralité, nous examinons maintenant chaque couche de sécurité séparément », déclare le responsable de la sécurité. « Nous analysons les différents parcours que des intrus prendraient. Quel est le plus court chemin ? Quels sont les points vulnérables sur ce parcours ? Que se passe-t-il si quelqu'un pénètre dans le bâtiment ? Quand allons-nous détecter sa présence ? Quelles barrières avons-nous érigées pour ralentir l'intrus ? Et comment une équipe d'intervention réagit-elle pour neutraliser la situation ? »

*Détecter, ralentir, réagir.* Détecter les menaces, ralentir la progression et avoir une réaction adaptée : ces trois mots-clés constituent la base de la défense du Centre de recherche contre toute une série de scénarios réalistes de menaces. « Le gouvernement nous donne un certain nombre de scénarios de menaces à mettre en œuvre. Au cours des exercices, nous tenons toujours compte



d'une potentielle menace en interne : un employé qui utiliserait son accès autorisé pour nuire à l'entreprise », déclare Carlé.

### La reconnaissance officielle de la FANC

Le SCK CEN a mis en place une série de mesures de sécurité pour faire face aux divers scénarios de menace potentiels. C'est ainsi que furent installés des capteurs de vibrations, des caméras intelligentes, des sas d'accès ne permettant l'entrée que d'une personne à la fois, des contrôles d'accès approfondis, du personnel de sécurité bien formé et une équipe d'intervention. L'an dernier, suite aux efforts consentis, le Centre de recherche a



**La sécurité occupe une place importante chez nos collaborateurs. Tout le monde se sent concerné, c'est ce qui nous réjouit.**

Benny Carlé

ainsi pu obtenir une reconnaissance officielle de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN). « Cette reconnaissance a été précédée d'un audit rigoureux. L'AFCN est venue visiter et a minutieusement vérifié toutes les descriptions de notre dossier de reconnaissance », enchaîne Carlé. « En Belgique, il n'y a que cinq autres organisations qui ont obtenu pareille reconnaissance ».

### Des yeux partout

Installer des caméras et faire patrouiller des agents de sécurité, cela suffit-il ? Non, bien sûr. Le credo du secteur de la sécurité est « toujours s'entraîner ». « Les agents de sécurité peuvent détecter les mouvements suspects sur les écrans, mais ils doivent être aussi en mesure de donner les instructions correctes à l'équipe d'intervention. Les gardes, l'armée et la police doivent agir parfaitement de concert », dit Carlé. « Pour rendre ces compétences naturelles, il faut refaire cent fois l'exercice. C'est la raison pour laquelle le SCK CEN organise 21 exercices de simulation chaque semaine – c'est-à-dire des exercices sans action sur le terrain – et au moins 4 exercices sur le terrain. Entre-temps, nos équipes de sécurité ont plusieurs années d'exercice dans les jambes. L'AFCN suit de près et planifie des inspections périodiques. Même si ce ne sont pas seulement les organismes officiels qui font réussir le concept de surveillance. La sécurité occupe une place importante chez nos collaborateurs. Avec eux, c'est plus de mille paires d'yeux supplémentaires qui permettent de tenir le cap. Tout le monde se sent concerné, c'est ce qui nous réjouit », conclut Carlé.



### La cybercriminalité : une affaire en plein essor

La cybercriminalité est à la hausse. Le chiffre d'affaires mondial de la criminalité en ligne serait au même niveau que le commerce de la drogue. Pour la contrer, le SCK CEN travaille à une infrastructure ICT avancée et hautement sécurisée. « Le réseau est divisé en sous-zones qui protègent les zones par différentes barrières pourvues de méthodes de détection efficaces... Au cours des dernières années, une attention particulière a été accordée à ces aspects et nous continuerons d'y travailler à l'avenir. La cybercriminalité ne constitue pas seulement une donnée statique : les attaques sont de plus en plus complexes, les défis sont de plus en plus grands », conclut Carlé.



### Sécuriser les connaissances, les matériaux et les données

À l'échelle mondiale, les institutions nucléaires sont sous pression pour renforcer la sécurité de leur site, tant physiquement que numériquement. Le SCK CEN n'y échappe pas, des suites d'un contexte international qui a bien changé. En 2020, nous pouvons à juste titre être fiers du résultat obtenu, avec une reconnaissance officielle de l'AFCN. Pourtant cette reconnaissance officielle ne signifie pas l'aboutissement de nos efforts. Nous continuerons de moderniser notre sécurité sur le même rythme pour faire face aux nouveaux défis.

— Peter Baeten  
Directeur général adjoint

## Demain

# Plus que jamais, le secteur médical peut compter sur le BR2

Le SCK CEN porte la disponibilité du réacteur de recherche de 160 à 210 jours

**Le nombre de patients atteints du cancer continue d'augmenter d'année en année. Et avec lui le besoin en radio-isotopes médicaux. « Un approvisionnement en continu est crucial », déclare Steven Van Dyck, responsable du réacteur de recherche BR2 au SCK CEN. Afin d'assurer cet approvisionnement, le SCK CEN a décidé d'augmenter le nombre de jours de fonctionnement du réacteur de recherche BR2 de 160 à 210 jours par an.**

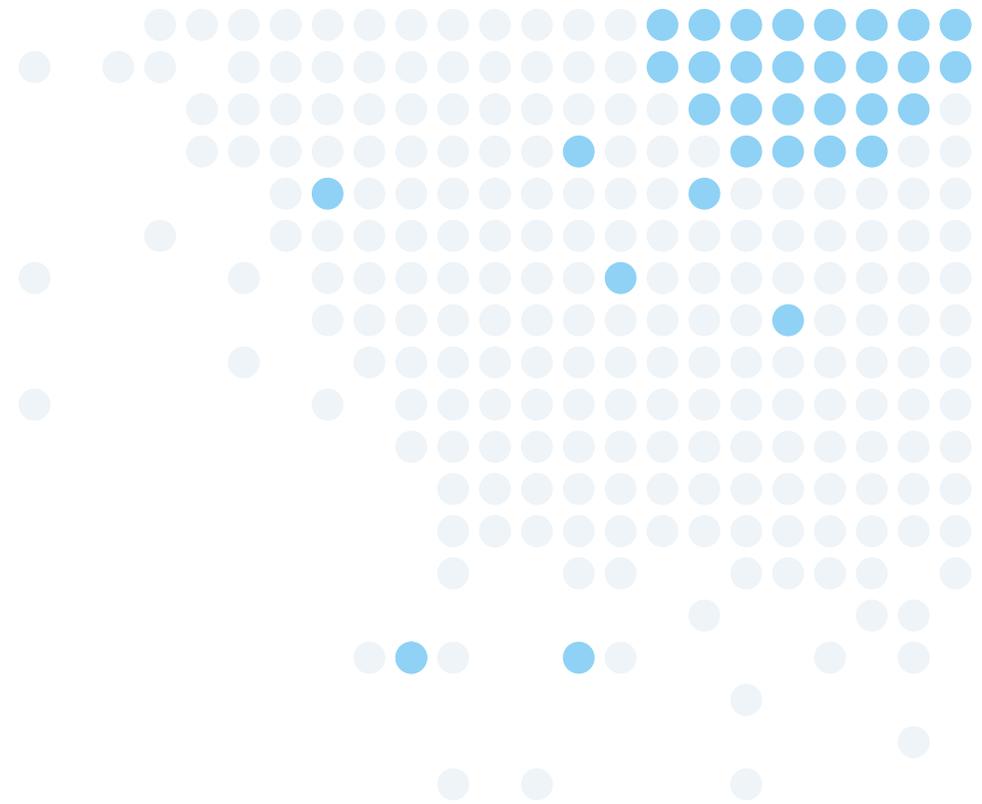
En 2016, le monde scientifique et médical a poussé un soupir de soulagement lorsque, après un entretien approfondi, le réacteur de recherche BR2 a été relancé avec succès. Le BR2 est prêt pour au moins une nouvelle décennie de projets ambitieux. « Grâce au 'refurbishment' nous sommes techniquement en mesure d'atteindre un degré de fonctionnement plus élevé », a déclaré le SCK CEN après les travaux. Le SCK CEN joint maintenant le geste à la parole. En 2019, le centre de recherche a effectué tous les préparatifs pour faire passer le nombre de jours de fonctionnement de 160 à 210. La raison principale ? La demande croissante de radio-isotopes pour l'imagerie médicale et le traitement du cancer au niveau international.

### Une course contre la montre

« Il n'y a qu'une poignée de producteurs de radio-isotopes médicaux au niveau mondial. Fin 2015, le réacteur OSIRIS a fermé ses portes en France, suivi du NRU au Canada fin 2016. Actuellement, il ne reste plus que six producteurs pour couvrir la demande mondiale. Et la demande croît année après année. Cela souligne la nécessité de la disponibilité de notre réacteur de recherche BR2 », poursuit Steven Van Dyck, le responsable du réacteur. « De plus, il n'est pas possible de constituer des stocks, comme c'est par exemple le cas pour les lignes de production de seringues. C'est une course contre la montre pour que les radio-isotopes médicaux soient à temps et heure disponibles pour les patients. Un approvisionnement en continu est crucial. »

**« C'est une course contre la montre pour livrer les radio-isotopes médicaux à temps pour les patients. Un approvisionnement continu est donc crucial. »**

Steven Van Dyck



### Un changement d'accent

À l'heure actuelle, les radio-isotopes médicaux occupent les deux tiers des canaux d'irradiation du BR2. Auparavant, c'était différent. « Dans le passé, l'accent était mis sur la recherche sur les matériaux tandis que les radio-isotopes médicaux étaient des sous-produits », précise Van Dyck.

Est-ce la fin de l'histoire pour toutes les autres applications ? « Non », insiste Van Dyck. Le réacteur de recherche BR2 est multi-usage. Il s'agit d'une installation polyvalente et flexible qui peut combiner plusieurs tâches à la fois. « Ainsi nous pouvons utiliser le réacteur à la fois pour produire des radio-isotopes médicaux et industriels, des semi-conducteurs de très haute qualité (silicium dopé) et effectuer de la recherche sur les matériaux. En 2019, par exemple, nous avons mené une campagne pluriannuelle d'irradiation. Ce faisant nous avons fait avancer ITER, le réacteur d'essai de fusion nucléaire au centre de recherche de Cadarache, d'un pas de plus vers son objectif : démontrer la faisabilité technique et scientifique de la fusion nucléaire [voir p. 46]. »

« La demande pour de telles irradiations ne fera que grandir à l'avenir. Certainement plus encore depuis 2018 car, après 60 ans de bons et loyaux services, le rideau est tombé sur le réacteur de recherche Halden en Norvège. Celui-ci a été utilisé pour la recherche expérimentale sur les combustibles et matériaux de structure. »



**N'importe qui peut fournir un système qui dure cinq ans. Les nouveaux générateurs diesel doivent continuer à fonctionner après l'exploitation. Nous préparons l'avenir.**

Karel Sebrechts

Avec une disponibilité accrue, le SCK CEN contribue déjà de manière vitale à un approvisionnement continu mais le centre de recherche a fait un effort supplémentaire : la capacité d'irradiation a été augmentée. « Pour la production de radio-isotopes à des fins diagnostiques, nous avons équipé un canal supplémentaire dans le réacteur, pour la production de radio-isotopes à des fins thérapeutiques, nous avons doublé la capacité », explique Van Dyck.

Quels radio-isotopes sont les plus produits ? « La majeure partie est réservée à la production de molybdène-99, le radio-isotope le plus important pour le diagnostic. Chaque année, ce sont presque sept millions d'examen qui sont réalisés grâce à la production belge. Par ailleurs, nous produisons des radio-isotopes pour le développement de traitements ciblés contre le cancer. Prenons par exemple le lutécium-177. Ce radio-isotope est très prometteur pour le traitement du cancer de la prostate, responsable de 90.000 décès par an en Europe. Ou bien un des isotopes du terbium qui, au CERN MEDICIS, sont surnommés les « couteaux suisses » de la médecine nucléaire [voir p. 29]. »

### Des emplois supplémentaires

Afin de pouvoir offrir davantage de jours de fonctionnement, le SCK CEN a augmenté le nombre de cycles d'exploitation du réacteur et a prolongé leur durée. Van Dyck : « Nous tournons maintenant de quatre à cinq semaines d'affilée, là où auparavant nous avions des cycles de trois semaines. Pour que tout se passe bien, nous avons engagé quelque 25 collaborateurs supplémentaires. Ces collaborateurs reçoivent une formation approfondie afin de maîtriser toutes les tâches. De fait, ils doivent s'entendre parfaitement. »

Avec le nouveau régime, la période d'arrêt, c'est-à-dire la période durant laquelle le réacteur ne fonctionne pas, est plus courte. Cela a un impact sur le planning des contrôles par exemple. « Tout est minutieusement programmé pour pouvoir effectuer tous les contrôles légaux et être en mesure de faire un entretien périodique. Nous prenons ces contrôles très au sérieux. La sûreté est et reste la priorité absolue. »



**Le système de secours est divisé en deux trains. Si un train tombe en panne, nous en avons un autre en back-up : un système de secours pour un système de secours.**

Bob Derboven



Gauche : Karel Sebrechts, initiateur du projet de construction.  
Droite : Bob Derboven, ingénieur de projet.



## Les piliers du BR2

Notoriété, disponibilité et fiabilité. Le BR2 est au niveau mondial un fournisseur important de radio-isotopes médicaux. À partir de 2020, le réacteur sera plus que jamais disponible. Pour garantir la fiabilité, le SCK CEN a remplacé les diesels de secours. Les diesels de secours alimentent le réseau électrique du BR2 en cas de coupure de courant. « Dans une telle situation, le réacteur devrait être arrêté de manière imprévue. Lors d'un tel arrêt, nous perdons deux jours d'exploitation. Cela représente un pour cent sur base annuelle », précise Karel Sebrechts, à l'origine du projet de construction. « Quand on sait qu'annuellement ce sont 7 millions d'examens médicaux qui sont effectués grâce à la production belge de molybdène-99, on comprend clairement ce qu'un arrêt imprévu représente en termes de patients affectés. Les vieux diesels de secours avaient déjà plus de 50 ans de service au compteur. Nous ne pouvions plus compter sur eux aveuglément, il était temps de les remplacer. »

Dans l'ancien système, trois volants d'inertie tournaient en continu à raison de 1.000 tours par minute. Les volants étaient mécaniquement couplés aux générateurs diesel. Dès qu'il y avait une coupure de courant sur le réseau, les générateurs diesel se mettaient en route. Bob Derboven, ingénieur de projet : « Dans le nouveau concept, nous avons découplé les deux parties. Six volants intelligents tournent dans le vide à 10.000 tours par minute. Les volants absorbent une baisse de tension tandis que les générateurs diesels sont démarrés en parallèle électriquement.

Une fois qu'ils ont démarré, ils reprennent le travail des volants. De plus, le système de secours est divisé en deux trains. Si un train venait à tomber en panne, nous avons l'autre en back-up. On peut appeler ça un système de secours d'un système de secours. » Le SCK CEN a construit un nouveau bâtiment pour y abriter les diesels de secours.

## Prêt pour l'avenir

Les chefs de projet ont également mis au point un filet de sécurité pour un large éventail d'événements incidents. Et si un incendie éclatait ? Ou si un tremblement de terre se produisait sur ce terrain ? Derboven : « Le bâtiment est conçu pour résister aux tremblements de terre. En outre, il est divisé en différentes pièces. Cela signifie que nous pouvons contenir un incendie dans une pièce. De cette façon, les autres espaces restent intacts et nous pouvons garantir la sécurité opérationnelle du BR2. »

La modularité est au cœur de l'ensemble du concept. Sebrechts : « N'importe qui peut fournir un système qui dure cinq ans. Pour le BR2, l'horizon de temps n'est pas clair. Actuellement, le BR2 devrait être exploité jusqu'en 2026 mais nous avons introduit un dossier de sécurité pour prolonger cette période jusqu'à 2036. Indépendamment de l'exploitation, des groupes de secours devront rester opérationnels. C'est pourquoi il est important que nous puissions facilement étendre nos modules et remplacer des pièces. Nous regardons plus loin que l'exploitation, cela rend cette installation unique. Nous nous préparons pour l'avenir. »



## Le BR2, plaque tournante de la pertinence sociétale

En parlant du BR2, j'aime utiliser l'expression de « plaque tournante de la pertinence sociétale ». Les nombreuses manières dont notre réacteur de recherche est utilisé pour irradier des matériaux avec des neutrons l'illustrent parfaitement mais jamais de manière aussi directe que dans son rôle de fournisseur incontournable de radio-isotopes médicaux. Au cours de chaque cycle de fonctionnement, nous fournissons la matière première nécessaire pour l'équivalent d'au moins 1 million de diagnostics de cancer et pour le traitement thérapeutique de plus de 3.000 patients atteints de cancer. La pertinence sociétale du BR2 et par extension toutes les lignes de recherche de notre centre national de recherche nucléaire est quelque chose dont nous, les Belges, nous pouvons être fiers.

— **Sven Van den Berghe**  
Science des matériaux nucléaires



## 2021 / 2026

---

Une nouvelle technologie permet de mesurer la dose de rayonnement sans dosimètre

Le SCK CEN démonte l'installation qui a considérablement réduit l'empreinte du démantèlement du BR3

Le terbium-161 : un radio-isotope émergent dans la lutte contre le cancer

# 2021 / 2026

## Une nouvelle technologie permet de mesurer la dose de rayonnement sans dosimètre

Une caméra et un ordinateur donnent aux médecins la possibilité de cartographier la dose de manière précise

Dans une salle d'opération, le personnel présent est exposé à chaque fois à une faible quantité de rayonnement ionisant. Pour éviter les risques pour la santé, les dosimètres enregistrent la dose de rayonnement individuelle. Cependant, ces appareils ne sont pas très précis. Le SCK-CEN a développé avec six partenaires internationaux une technologie révolutionnaire afin de déterminer de manière plus précise les doses de rayonnement à l'aide d'une caméra et d'un logiciel spécialisé. Cette technologie présente beaucoup de potentiel comme l'indique le projet **PODIUM (Personal On-line Dosimetry Using Computational Methods)**.





Un radiologue interventionnel anesthésie localement la peau du patient, enfonce une aiguille dans l'aîne et pose un cathéter dans le vaisseau sanguin. Il déplace le cathéter à l'endroit qu'il veut examiner et y injecte une substance de contraste. Durant l'intervention, il radiographie les vaisseaux sanguins.

La plupart des patients n'y pensent pas, mais le médecin opérant est aussi exposé à un rayonnement ionisant. La dose que le médecin reçoit dépend des traitements qu'il effectue. Par exemple, lorsqu'il réalise des radiographies est-il légèrement penché au-dessus du patient ou a-t-il les mains au-dessus du patient ? En fonction de sa position, le niveau de la dose peut être plus ou moins élevé. Un dosimètre classique mesure la quantité de rayonnement au niveau du dosimètre. Avec une caméra et des détecteurs de mouvement, il est possible de déduire la dose de rayonnement pour les différentes parties du corps.

#### Un software spécialisé

Avec six partenaires internationaux, le SCK CEN a développé une technologie révolutionnaire pour calculer la dose individuelle de rayonnement reçue par le médecin. Cette technologie se compose d'une caméra et d'un software spécialisé. La caméra – avec les détecteurs de mouvements – suit de près toutes les actions du radiologue interventionnel et enregistre tous les mouvements du corps. Le logiciel rassemble toutes les données avec le faisceau de l'appareil de radiographie utilisé et cal-

cule ainsi la dose de rayonnement encourue. « Le logiciel tient compte du champ de rayonnement de la source et de la distance entre le radiologue et le patient », explique Pasquale Lombardo, chercheur au SCK CEN. « Quelle énergie a le rayonnement ? De quel angle certaines parties du corps sont-elles, irradiées ? Tout cela fait une différence. »

#### Une dosimétrie sur mesure

Le logiciel de cette nouvelle technologie a été mis au point sur base de simulations sur des mannequins. Cela s'est déroulé au St. James's Hospital en Irlande et à l'hôpital universitaire de Malmö en Suède. Les chercheurs ont placé des torses anatomiques près d'un générateur de rayons X. « Nous avons scotché plein de dosimètres sur les torses pour cartographier l'exposition aux rayonnements pour l'ensemble du corps », poursuit Pasquale Lombardo. « Nous avons effectué les mêmes mesures avec et sans équipements de protection individuelle. Par exemple, quelle dose mesurons-nous dans les différents organes si le torse est protégé par un tablier de plomb ? C'est une information cruciale. Nous avons aussi utilisé des torses dans différentes configurations : homme ou femme, grand ou petit... Cela devrait permettre plus tard d'aller vers une dosimétrie individualisée. »

#### Plus de tests nécessaires

La technologie étudiée semble dépasser les dosimètres physiques actuels. Pourquoi alors ne pas



**Nous utilisons des caméras pour la dosimétrie humaine. Cette approche innovante est unique au niveau mondial.**

Filip Vanhavere



supprimer ces derniers purement et simplement ?  
« Ne sautons pas les étapes », tempère le coordinateur du projet Filip Vanhavere face aux attentes. « Les dosimètres physiques ont effectivement leurs limites. Ainsi, il est vrai qu'ils n'offrent qu'un seul point de mesure pour l'ensemble du corps. En conséquence, ils ne peuvent donner que peu d'informations sur l'ensemble des différents organes. Les résultats des mesures ne sont disponibles qu'après quelques semaines et il y a un facteur d'incertitude de deux en ce qui concerne la précision de la mesure. Notre logiciel offre la possibilité d'outrepasser ces limitations, mais la technologie en est encore à ses balbutiements. Son développement doit être poursuivi et testé. »

Les partenaires du consortium visent à réaliser un prototype en 2021, le lancement du prototype en 2023 et 2025 pour mettre le produit sur le marché. En même temps, ils veulent décliner le produit dans d'autres contextes que la radiologie interventionnelle et la cardiologie. L'an dernier, les chercheurs ont déjà configuré un équipement de test dans des zones de travail avec des neutrons.



**Homme ou femme, petit ou grand...Notre nouvelle technologie permet une dosimétrie sur mesure.**

Pasquale Lombardo

## Une nouvelle approche

La nouvelle technologie respecte le principe légal ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Ce principe stipule qu'une dose de rayonnement doit toujours être aussi faible que possible. Partout dans le monde, d'autres chercheurs ont déjà utilisé des caméras avec des détecteurs de mouvements pour respecter le principe ALARA. Dès qu'une personne s'approche de trop près d'une source (de rayonnement), un avertissement s'affiche. Mais le projet PODIUM va encore plus loin.

Vanhavere : « Nous utilisons des caméras pour la dosimétrie humaine. Cette approche innovante est unique au niveau mondial. De plus, les ordinateurs deviennent de plus en plus rapides. C'est important car nous calculons les doses au niveau des organes sur base de simulations appelées simulations de Monte-Carlo. Une simulation de Monte-Carlo est une technique de calcul assistée par ordinateur dans laquelle un processus physique est simulé non pas une fois mais beaucoup de fois. Dans nos recherches, ce processus physique consiste en l'émission de particules de rayonnement. »

« Dans une simulation de Monte-Carlo, des millions de particules de rayonnement sont émises à partir d'un générateur de rayons X », explique Lombardo. « Chaque particule de rayonnement a son énergie propre ou se déplace dans une autre direction. Nous les suivons tous sur leur trajectoire et calculons la dose de rayonnement qui touche les différents organes. A chaque fois que le médecin se déplace, nous répétons la même simulation. Cela demande énormément de puissance de calcul et donc des ordinateurs rapides, mais on obtient également des données très précises. Aussi longtemps que la puissance de calcul des ordinateurs et que la qualité des images de la caméra augmentent, nous pouvons davantage améliorer notre technologie. »

## Sept partenaires pour un projet

Sept partenaires ont uni leurs forces pour faire du projet innovant PODIUM un succès : le SCK CEN (Belgique), l'Universitat Politècnica de Catalunya – UPC (Espagne), le Helmholtz Zentrum München (Allemagne), l'Université de Lund (Suède), la Santé Publique Anglaise (Grande-Bretagne), la Commission d'Énergie Atomique Grecque (Grèce) et le St. James's Hospital Ireland (Irlande). « Un suivi dosimétrique individuel est crucial pour une bonne protection contre les rayonnements. Notre ambition est de poursuivre la recherche et d'améliorer nos techniques de mesure actuelles », déclare Filip Vanhavere.

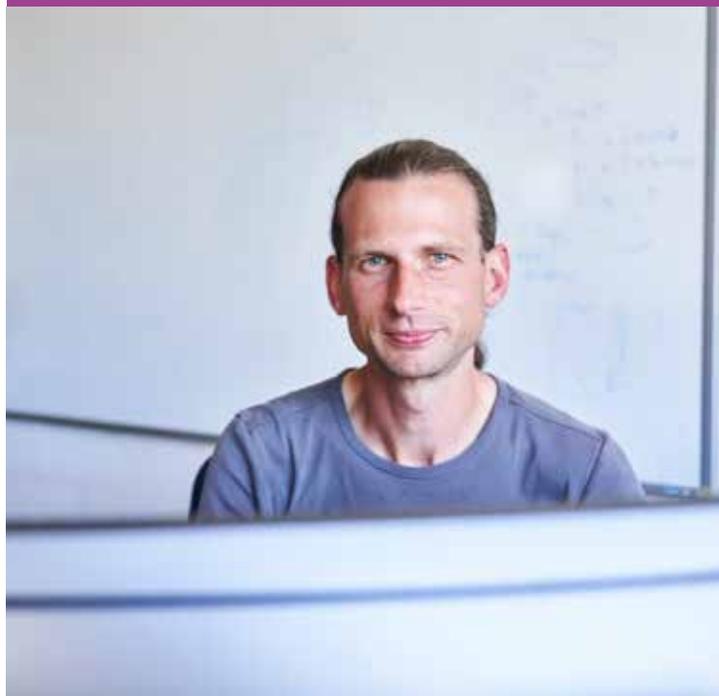
Le projet PODIUM est financé par le programme de recherche et de formation 2014-2018. Celui-ci fait partie du projet H2020 CONCERT, un programme européen qui intègre les recherches nationales et européenne en radioprotection.

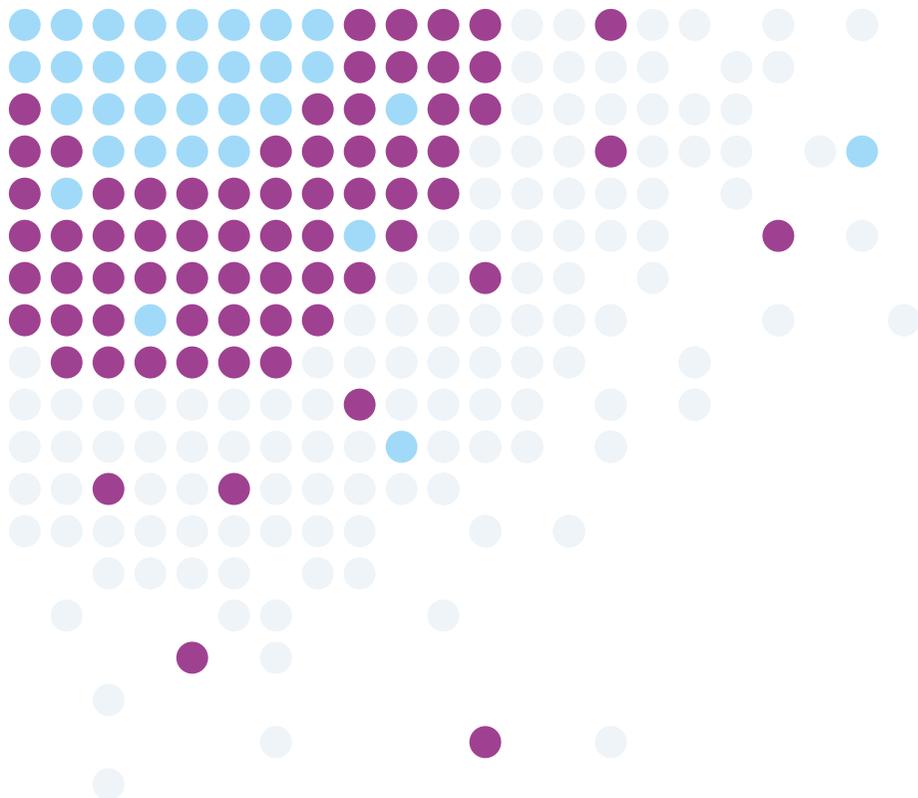


## Surfer sur la vague de la quatrième révolution industrielle

La quatrième révolution industrielle fusionne les mondes de la physique, du numérique et de la biologie. En radioprotection, les sciences de base sont aussi aidées des avancées technologiques, de l'intelligence artificielle, des algorithmes d'apprentissage automatique et des *big data*. Toutes ces aides permettent une meilleure protection de l'homme et de son environnement dans les applications médicales, les études d'impact avancées, les missions spatiales... Ce maillon, innovant et rigoureux, est indispensable dans un réseau multidisciplinaire.

— **Hildegard Vandenhove**  
Environnement, Santé et Sécurité





## 2021/2026

# Après 20 ans de MEDOC, on tire un trait... non définitif

Après 20 ans de service, le SCK CEN démonte l'installation qui a considérablement réduit l'empreinte du démantèlement du BR3

**Après 20 ans, le SCK CEN a mis l'installation MEDOC hors service. C'est dans cette installation que les experts en démantèlement ont procédé au nettoyage des composants métalliques du réacteur en raclant chimiquement la couche de surface contaminée. Cette opération a considérablement réduit l'empreinte du démantèlement du réacteur BR3. Maintenant, le centre de recherche poursuit cette expérience couronnée de succès avec une méthode prometteuse pour le traitement final des déchets secondaires.**

Avec la loi sur la sortie du nucléaire de 2003, le gouvernement fédéral a décidé de fermer progressivement les centrales nucléaires. La fermeture lancera un nouveau défi majeur : le démantèlement de la centrale. L'objectif est de restaurer le site en le ramenant à son état d'origine de sorte qu'une nouvelle affectation puisse être donnée au site. « Chaque projet de démantèlement a une règle d'or : réduire au maximum la quantité de déchets radioactifs à un coût acceptable », explique Kurt Van den Dungen, expert en démantèlement au SCK CEN.

Comment peut-on réduire la quantité de déchets radioactifs ? Lors du démantèlement du réacteur BR3, le SCK CEN a mis au point des techniques pour aider les spécialistes à réussir dans ce domaine. L'une de ces techniques se dénomme MEDOC. « MEDOC est l'acronyme de *metal decontamination by oxidation with cerium* (décontamination par oxydation avec du cérium). Comme son nom l'indique, nous trempions les composants métalliques du réacteur dans un bain acide de cérium à haute température. Le cérium dissout la couche de sur-

face superficielle contaminée de sorte que le métal n'est plus radioactif. Après traitement, les matériaux peuvent être évacués comme mitraille et être recyclés dans l'industrie sidérurgique », détaille Van den Dungen. Le SCK CEN a affiné un procédé existant considéré comme très prometteur dans la littérature scientifique, et a mis au point une installation pour décontaminer les composants contaminés du réacteur à eau pressurisée BR3.

L'installation mise en service en 1999 a soufflé ses 20 bougies l'année dernière. Van den Dungen : « Après 20 ans de bons et loyaux services, nous avons décidé de mettre l'installation à l'arrêt. Différents facteurs ont influencé cette décision. D'une part, on a terminé la phase de démantèlement dans laquelle la majeure partie des composants métalliques devaient être traités. D'autre part, vu que l'installation était logée dans le bâtiment du BR3, celle-ci constituait en elle-même une partie du projet de démantèlement. L'installation est actuellement en phase de démontage minutieux et on étudie des pistes pour lui donner une seconde vie. »

### Valoriser une technique raffinée

Les experts en démantèlement ont obtenu un résultat remarquable avec l'installation MEDOC. Van den Dungen : « Au total, nous avons traité plus de 100 tonnes de métal dans l'installation MEDOC. Nonante pourcents ont pu être libérés et réutilisés et donc être réaffectés. Les dix pourcents restants ont été envoyés chez notre société voisine Belgoprocess, une filiale de l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles (ONDRAF), en charge de la gestion des déchets radioactifs en Belgique. » Grâce à cette technique, le SCK CEN a donc pu réduire la quantité de déchets radioactifs de manière drastique. « Nous avons obtenu des résultats remarquables avec l'installation





## Nous avons obtenu des résultats remarquables avec l'installation MEDOC qui nous offrent des perspectives nouvelles pour l'avenir.

Kurt Van den Dungen

MEDOC qui nous offrent des perspectives nouvelles pour l'avenir. »

« Nous désirons valoriser nos connaissances et notre expérience, mais nous devons d'abord trouver une solution définitive pour les déchets secondaires », poursuit Van den Dungen. Pour les déchets secondaires, on se réfère à la solution chimique dans laquelle les composants métalliques sont décontaminés. Elie Valcke, un autre collègue scientifique : « Cette solution de décontamination est radioactive ; elle doit donc aussi subir un traitement et recevoir une affectation finale. Nous étudions actuellement cette question en collaboration avec ENGIE, qui a manifesté son intérêt quant à l'utilisation de MEDOC pour ses centrales nucléaires. » Ce projet s'inscrit dans un accord-cadre entre ENGIE-Electrabel et le SCK CEN qui vise à tenir à jour les techniques et les activités en matière d'exploitation et de démantèlement de centrales nucléaires.

Le traitement des déchets secondaires est séparé en deux étapes : une étape de pré-traitement et une de conditionnement. Pendant la première étape (le pré-traitement), les chercheurs neutralisent la solution acide radioactive, laissent les dépôts radioactifs se déposer dans le fond et séparent les différents dépôts pour laver les sulfates solubles. Dans l'étape de conditionnement, ils mélangent les dépôts radioactifs restants avec une matrice d'immobilisation à base de ciment. « Les déchets conditionnés doivent répondre à un certain nombre de critères d'acceptation imposés par l'ONDRAF. Comment se comporte à court terme le ciment fraîchement fabriqué ? Quelle chaleur est générée ? Combien de temps faut-il pour que le ciment durcisse ? Dans quelle mesure les déchets conditionnés sont-ils stables durant un stockage prolongé à des températures et degrés d'humidité bas ou élevés ? Que se passe-t-il si les déchets conditionnés entrent en contact avec l'eau ? », s'interroge Valcke.

« Nous voulons à tout prix éviter une réaction alcali-granulat, qui est responsable de la gélification. Une réaction alcali-granulat est une réaction dans laquelle les sulfates font gonfler le ciment. Il existe cependant des types de ciment qui peuvent résister à des faibles concentrations de sulfate comme le type de ciment que nous composons et testons. C'est pourquoi nous filtrons à l'avance le plus de sulfates possibles. »

### Des tests sur plusieurs années

La patience est une vertu. Les chercheurs du SCK CEN peuvent en attester pour ce projet. « Il faut des années pour tester en profondeur notre composition de ciment soigneusement définie », souligne Valcke. « La réaction chimique entre le ciment et l'eau libère de la chaleur, ce qu'on appelle la chaleur d'hydratation, provoquant



une augmentation de température du mortier en cours de durcissement. La chaleur d'hydratation dépend entre autres de la composition du ciment et de sa granularité. Une température trop élevée durant le processus de production peut, après refroidissement, entraîner des fissures. Les premiers résultats sont encourageants : le ciment n'est pas trop chaud durant le processus de production, il durcit suffisamment vite, il peut résister aux tests de robustesse... Le fait que nous ayons pu engranger de tels résultats est dû à un excellent travail d'équipe. Maintenant nous étudions l'effet des données aberrantes dans la composition moyenne de la solution de décontamination. Dans la phase suivante, nous allons effectuer des tests avec des matériaux radioactifs. Différents composants peuvent influencer la stabilité du produit final. La formule du ciment doit être capable de faire face à ce problème. »



La solution chimique qui reste après le traitement doit aussi être traitée et obtenir une destination finale. Nous étudions actuellement cette question en collaboration avec ENGIE.

Elie Valcke



2021/2026

# Le terbium-161 : un radio-isotope émergent dans la lutte contre le cancer

Pour la première fois, le SCK CEN va plus loin dans la chaîne de production

**Une dose locale plus élevée, un meilleur effet thérapeutique. Le terbium-161 apparaît comme un des radio-isotopes de l'avenir, mais l'est-il vraiment ? Pour approfondir cette question, le SCK CEN a commencé sa production à petite échelle. « Nous avons pris en charge toutes les étapes de la chaîne de production d'un produit radiopharmaceutique : de la préparation des capsules d'irradiation à l'étiquetage radioactif des biomolécules. Une première pour le SCK CEN ! », selon les radiochimistes concernés.**

*« Il a une demi-vie d'un peu moins de sept jours et se désintègre en émettant une particule bêta avec une énergie maximale d'environ 0,5 MeV. Des rayons gamma de faible niveau d'énergie sont également émis et utilisables pour l'imagerie. La définition décrit à première vue le radio-isotope thérapeutique lutécium-177, si ce n'était pour le fait que l'isotope en question émet également une quantité non négligeable d'électrons de conversion et d'Auger de faible niveau d'énergie. »*

Le radio-isotope décrit ici est le terbium-161. « Un nouveau venu prometteur parmi les radio-isotopes thérapeutiques », déclare Andrew Burgoyne, radiochimiste au SCK CEN. « Les radio-isotopes thérapeutiques constituent un chaînon incontournable dans les traitements ciblés contre le cancer. Dans un tel traitement, une molécule porteuse véhicule un radio-isotope de manière très précise vers les cellules cancéreuses. Une fois que la molécule



Dans les années à venir, nous voulons élargir le procédé vers d'autres radio-isotopes prometteurs.

Bernard Ponsard



## La disponibilité du terbium-161 est limitée, ce qui freine la recherche et le développement.

Michiel Van de Voorde

porteuse s'est attachée ou est absorbée par la cellule, le radio-isotope peut irradier la cellule cancéreuse. Les cellules cancéreuses ainsi endommagées vont mourir et la tumeur elle-même rétrécit. »

### Le traitement local des cellules cancéreuses

Des traitements ciblés contre le cancer existent depuis longtemps. Qu'est-ce qui rend le terbium-161 si particulier ? « Les électrons d'Auger », répond notre collègue radiochimiste

Michiel Van de Voorde. « Lorsque le terbium-161 se désintègre, l'isotope émet en moyenne deux électrons d'Auger de faible niveau d'énergie par particule bêta. Une fois émis, les électrons d'Auger ne vont pas très loin tout comme les particules alpha. Ce qui signifie que par injection, une plus haute dose peut s'accumuler et la cellule cancéreuse est traitée très localement. De ce fait, les dommages causés aux tissus sains sont limités au minimum. Nous espérons donc un effet thérapeutique encore supérieur au lutécium-177. »

Pour prouver cet effet thérapeutique, il reste encore beaucoup de tests (pré)cliniques à effectuer. « Toutefois, la disponibilité du terbium-161 est limitée, ce qui freine la recherche et le développement », fait observer Van de Voorde. On travaille à accroître la disponibilité et, en 2019, le SCK CEN a entamé une petite production. « Plus il y a de terbium-161 disponible, plus il est possible d'accélérer la recherche, plus vite le radio-isotope pourra être utilisé pour des patients », déclare Bernard Ponsard, spécialiste de la physique des réacteurs et radioisotopes stakeholder manager.

### De la production aux études précliniques

Par le passé, le SCK CEN ne s'occupait que de la première phase de production des radio-isotopes : l'irradiation des cibles. « Maintenant nous allons un pas plus loin dans la chaîne de production. C'est une première pour le SCK CEN », affirme Burgoyne. « Après irradiation dans le réacteur de recherche BR2, les capsules sont envoyées dans un laboratoire radiochimique du site de Mol. Dans ce laboratoire, on isole le terbium-161 pur en séparant l'isotope, par un procédé chimique, du gadolinium



et du dysprosium. Nous avons implanté et optimisé la technique de séparation en interne. »

## Une montée en puissance

Les irradiations dans le réacteur de recherche BR2 pour produire le terbium ont commencé l'année dernière. « À chaque cycle, nous avons réservé quelques positions d'irradiation pour la production des quantités de terbium-161 nécessaires à la recherche. Lors du tout premier cycle, nous avons irradié deux capsules durant deux jours. Par la suite, nous avons augmenté systématiquement notre capacité d'irradiation : de deux capsules, on est passé à quatre, de deux jours d'irradiation, nous sommes passés à dix », explique Ponsard. Dans les années à venir, le SCK CEN veut faire certifier le processus de production GMP (*Good Manufacturing Practice*), augmenter la quantité produite (dans le cadre du projet NURA, voir l'encadré) et élargir le procédé vers d'autres radio-isotopes prometteurs. « Le lutécium-177, le tungstène-188/rhénium-188 et le samarium-153 viennent tout de suite à l'esprit », poursuit Van de Voorde. C'est pourquoi les radiochimistes vont disposer en 2020 d'un nouveau laboratoire spécialisé de radiochimie.

## Les frères Terbium

Le terbium-161 peut également être utilisé avec un cocktail d'isotopes parents du terbium. Le terbium-155 pourrait mettre en lumière des éléments d'une maladie lors de scans SPECT. Le terbium-152 pourrait être administré par des spécialistes pour des examens PET afin de détecter des tumeurs malignes et des métastases. Ou bien, ils

peuvent suivre de près l'évolution de la thérapie contre le cancer qu'ils ont prescrite. « Pour la thérapie du cancer, nous espérons même être en mesure à l'avenir de faire appel au terbium-149 pour de la thérapie alpha d'une part, et du terbium-161 pour la thérapie bêta d'autre part. Le terbium se prête donc parfaitement à la fois à des fins de diagnostic et pour le traitement. En bref : c'est un radio-isotope théranostique par excellence », poursuit Burgoyne. Mais pourquoi le SCK CEN opte-t-il pour la production de terbium-161 et non pour celle d'un des autres isotopes du terbium ? « Le terbium-161 peut être produit dans notre réacteur de recherche BR2. Pour produire d'autres isotopes du terbium, ce ne sont pas des neutrons mais des protons dont on a besoin », précise Bernard Ponsard. Cette installation est encore en phase de construction (voir page 34).



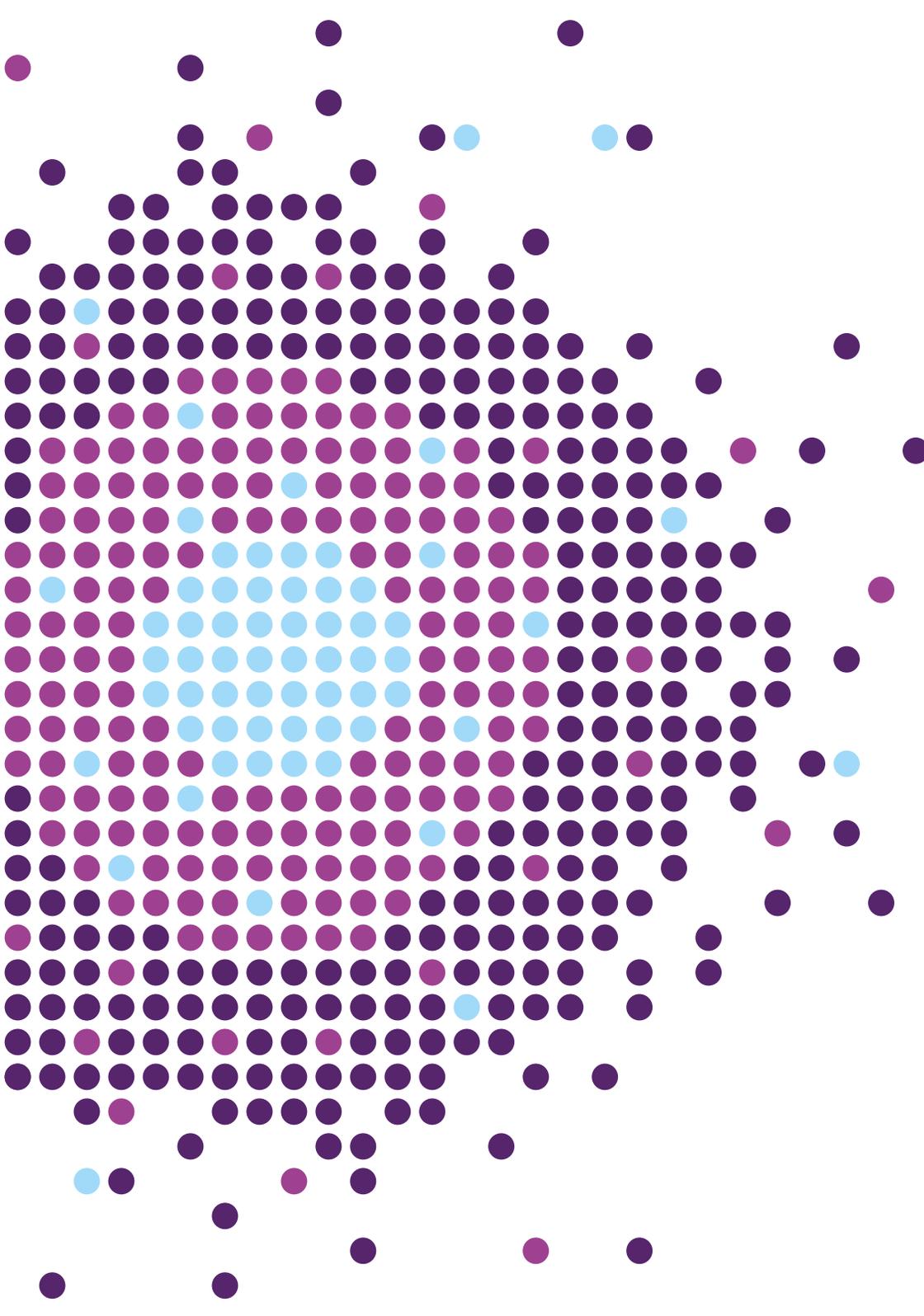
## Nous avons implémenté et optimisé une technique de séparation en interne pour isoler le terbium-161 pur.

Andrew Burgoyne



## Le projet NURA : des produits radiopharmaceutiques pour le traitement du cancer

Le projet NURA mène des recherches novatrices sur les produits radiopharmaceutiques pour le traitement de différents types de cancer. Cela se fait en collaboration avec des partenaires cliniques et industriels. La KU Leuven est un des partenaires avec lequel les chercheurs du SCK CEN devraient effectuer les premiers tests précliniques avec le terbium-161. Ils ont déjà lié le terbium-161 à une molécule porteuse et évaluent actuellement le fonctionnement de ce produit radiopharmaceutique. Entretemps, des collaborations internationales sont déjà en cours de préparation.



## 2027 / 2050

---

La nouvelle génération de radio-isotopes médicaux imminente

Des essais de corrosion concluants sur des matériaux de MYRRHA

Comment nous préparons-nous pour des voyages dans l'espace de plus en plus lointains ?

La fusion nucléaire : le soleil en boîte

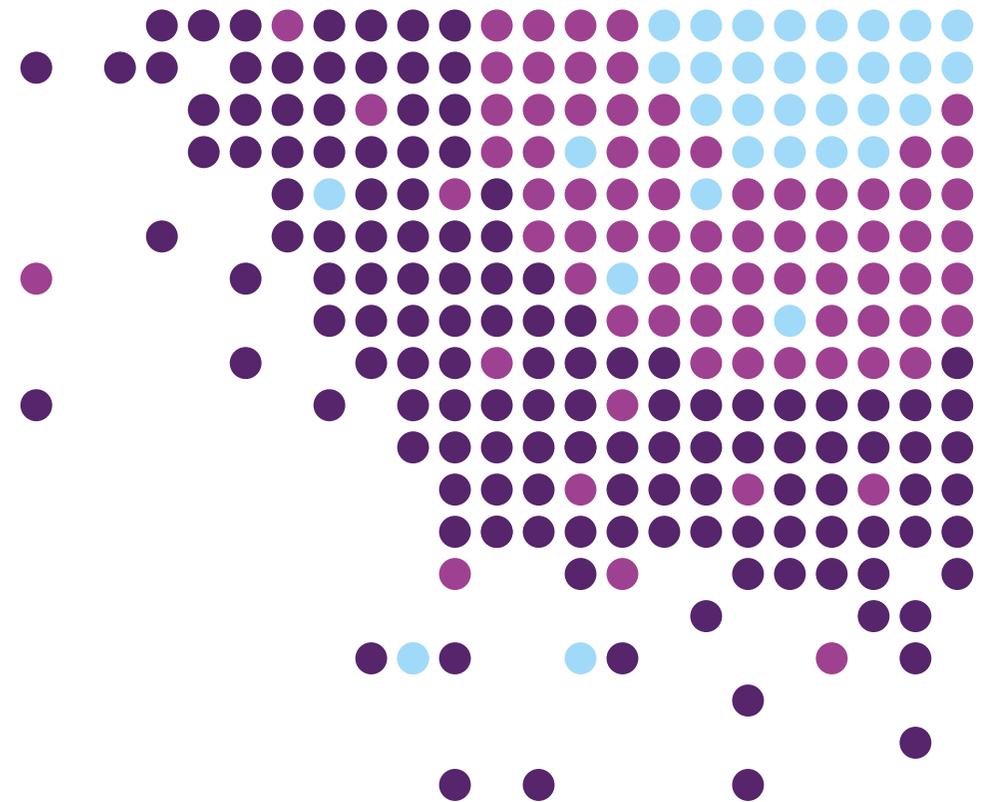
# 2027

## Le SCK CEN fait grimper les radio-isotopes

Le four – le « conteneur cible » de ISOL@MYRRHA – réussit le premier test d'intégrité

Les ingénieurs du SCK CEN ont construit le conteneur cible de ISOL@MYRRHA : une sorte de four qui peut monter à 2400 °C. C'est dans ce « four » que le SCK CEN produira à partir de 2027 des radio-isotopes pour des applications médicales et la recherche fondamentale. Pour le centre de recherche, le premier test d'intégrité réussi est déjà du passé. « La jauge de température est montée très vite : un sentiment indescriptible », s'exclame Lucia Popescu, une des forces motrices de ce projet.





En 2019, après une longue préparation, lorsque Lucia Popescu et ses collègues ingénieurs ont branché le conteneur cible d'ISOL@MYRRHA, il est immédiatement devenu orange-rouge. Le four – d'un diamètre d'à peine 4 cm – a atteint sans faute une température de plus de 2000°C. « Nous avons tous ensemble attendu ce moment. Que nous ayons atteint la température attendue sans peine constitue un sentiment indescriptible », raconte Popescu, chercheuse en physique nucléaire.

#### Un conteneur cible

A quoi sert le *conteneur cible* ? Popescu : « Actuellement, le SCK CEN travaille intensivement à la construction de MYRRHA, une première mondiale constituée d'un réacteur de recherche piloté par un accélérateur de particules. La construction de MYRRHA se déroule en différentes phases. Durant la phase 1, nous construisons MINERVA, l'accéléra-

teur de particules avec une énergie allant jusqu'à 100 mégaelectronvolts (MeV). Dans la phase suivante, nous allons augmenter le niveau d'énergie à 600 MeV. Cette énergie est nécessaire pour mener à bien toutes les activités prévues, avec en particulier la démonstration de la transmutation au sein du réacteur de recherche MYRRHA. Le réacteur de recherche proprement dit sera construit pendant une troisième et dernière phase, qui se poursuivra jusqu'en 2036. »

À un niveau d'énergie de 100 MeV, le faisceau de protons est dévié. Cinq pourcents sont envoyés vers une installation de séparation en ligne ISOL (*Isotope Separation On-Line*) dans l'installation de cible de protons PTF (*Proton Target Facility*). Ces cinq pourcents tirent à travers les cibles dans le conteneur cible de ISOL@MYRRHA. « Les cibles de la taille d'environ une pièce de monnaie et d'à peine 1 millimètre d'épaisseur sont composées

## Le SCK CEN et TRIUMF unissent leurs forces

Le SCK CEN et l'institut de recherche canadien TRIUMF unissent leurs forces. Les deux partenaires se sont promis d'échanger leurs expertises multidisciplinaires et leurs infrastructures. Ils ont joint le geste à la parole car TRIUMF a partagé la conception d'ARIEL avec le SCK CEN. ARIEL signifie *Advanced Rare Isotope Laboratory*, et est le porte-drapeau de TRIUMF.

### D'autres défis

Avec la nouvelle installation ISOL, TRIUMF vise à produire des radio-isotopes rares. La conception de ISOL@MYRRHA ressemblera à celle d'ARIEL. « À l'exception de la conception de l'assemblage cible », souligne Lucia Popescu. « Pour MYRRHA, le faisceau de protons est tiré sur la cible à un niveau d'énergie de 100 MeV, tandis que le faisceau de protons d'ARIEL ne dévie qu'à 500 MeV. Cela pose des défis très différents. Une fois que les radio-isotopes sont évaporés, le fonctionnement est identique. » L'accord de collaboration a été signé en 2019 par Eric van Walle, directeur général du SCK CEN et Jonathan Bagger, directeur de TRIUMF.

d'un matériau poreux », explique Popescu. « Grâce à l'énergie déposée par le faisceau de protons, la température au sein du conteneur cible grimpe à environ 2000°C. Cela permet aux radio-isotopes de s'évaporer des cibles. Ainsi au cœur du PTF, la magie se produit. Cela nous permettra de commencer le développement de radio-isotopes thérapeutiques, des radio-isotopes utilisés à la fois pour le diagnostic et le traitement du cancer. Le conteneur cible est lui-même logé dans une chambre à vide refroidie à l'eau. »

Une fois que les radio-isotopes s'échappent des cibles, ils commencent à errer. Ils se cognent partout, jusqu'à ce qu'ils trouvent une petite ouverture dans le conteneur cible. Popescu : « C'est ce qu'on appelle un tube de transfert qui amène les isotopes dans un ionisateur. Ils sont ensuite accélérés dans un champ électrique et sont séparés par un champ magnétique sur base de leur masse. Cette dernière opération est très importante. Par exemple, une substance telle que l'actinium-225 a une demi-vie de 10 jours, l'actinium-227 une demi-vie de plus de 20 ans. Il est donc crucial de choisir correctement la masse. Au final, les isotopes sont collectés. »

### Un profil de température uniforme

Tout d'abord, les isotopes doivent être en mesure d'atteindre le tube de transfert. Un profil de température uniforme joue un rôle décisif dans ce domaine. « Certains radio-isotopes sont tout sauf éphémères et ont besoin de 2 000 °C pour pouvoir s'évaporer », dit Popescu. « Si la paroi du conteneur cible est plus froide à un endroit et qu'un radio-isotope entre en collision avec elle, il pourra s'accrocher à la paroi. Nous perdrons ainsi beaucoup

de radio-isotopes. Ce n'est évidemment pas le but. C'est pourquoi nous nous efforçons de maintenir un profil de température uniforme. »

« Le faisceau de protons chauffe les cibles en perdant son énergie. Les cibles rayonnent à leur tour et transmettent la chaleur au conteneur cible. En plaçant les cibles à une certaine distance l'une de l'autre, nous pouvons assurer un profil de température uniforme. Si l'accélérateur de particules est stoppé ou s'il y a une interruption du faisceau de protons, nous maintenons la température à l'aide du courant électrique. Le conteneur cible se comporte alors comme un 'four', qui va permettre l'évaporation des radio-isotopes. C'est la dernière façon de chauffer que nous avons testée dans notre four fait maison. »

### Les tests de matériaux

En 2019, le « four » a été testé pour la première fois en le chauffant électriquement. La température cible souhaitée a été atteinte, le vide a été maintenu et le refroidissement a bien fonctionné. L'an prochain, les chercheurs vérifieront si le profil de température uniforme peut être garanti. Ils étudieront également comment le matériau du conteneur cible se comporte dans des conditions extrêmes. « Des températures élevées, des chocs thermiques, un environnement sous vide... tous ces facteurs peuvent altérer l'intégrité du matériau. Par exemple, le matériau peut fondre, alors la porosité disparaît et les radio-isotopes sont piégés dans les cibles. Ou bien des fissures apparaissent dans le conteneur cible et les radio-isotopes sont perdus. Nous sommes impatients de mettre cette construction au point », conclut Popescu.





## L'injecteur de MYRRHA délivre les premiers protons

L'accélérateur de particules est en cours de construction au Centre de Ressources du Cyclotron à Louvain-la-Neuve. La configuration à Louvain-la-Neuve est limitée à 5,9 MeV. Cette partie basse énergie – l'injecteur – est extrêmement importante pour le comportement du faisceau de protons pendant l'accélération. Il détermine en fait la fiabilité de l'accélérateur. C'est pourquoi le SCK CEN consacre beaucoup d'attention à des tests approfondis.

### Mettre ensemble les composants

« Toutes les pièces ont été testées séparément. En mars 2019, il était temps de passer à la phase suivante : faire fonctionner tous les composants en même temps », explique Dirk Vandeplassche, physicien et spécialiste des accélérateurs de particules. Cela s'est rapidement avéré une phase réussie car les premiers protons sortaient sans problème de la source d'ions. Et Vandeplassche d'expliquer : « La source d'ions délivre des protons dont l'énergie est augmentée progressivement. Tout d'abord dans le

quadripôle de radiofréquence (*Radio Frequency Quadrupole –RFQ*) et ensuite par une succession d'aimants et de cavités. Cette accélération nécessite une certaine puissance. Cette puissance est fournie par de puissants amplificateurs. Nos amplificateurs ont été développés et construits par la firme belge IBA. » Les chercheurs ont analysé les premiers protons et se sont préparés à les injecter dans le RFQ. L'injection du faisceau de protons est prévue en 2020.

### Déménagement à Mol

Une fois que la partie basse énergie est tout-à-fait au point, le niveau d'énergie de l'accélérateur de particules sera progressivement augmenté. « Dans une première phase, nous construisons MINERVA, l'accélérateur de particules avec une énergie de 100 MeV pour commencer à développer des radio-isotopes médicaux innovants et à effectuer des recherches sur les matériaux. Dans une seconde phase, nous voulons porter le niveau d'énergie à 600 MeV. Avant de réaliser cela, l'accélérateur de particules doit être déménagé à Mol. Tous les travaux de préparation du bâtiment qui abritera MINERVA battent leur plein », conclut Vandeplassche.



## La science et la technologie, des vases communicants

Le progrès scientifique est le moteur du développement technologique. Le développement technologique crée à son tour de nouvelles possibilités de recherche et, de cette manière, stimule la science. Ce jeu de vases communicants ne serait possible sans les chercheurs qui en constituent le lien. Des chercheurs de différentes disciplines qui unissent leurs forces. Un environnement de travail où ils peuvent échanger leurs idées est au cœur du processus. Nous tentons donc de garantir un environnement interdisciplinaire afin d'atteindre nos objectifs ambitieux.

— **Marc Schyng**  
Systèmes Nucléaires Avancés



2036

## Le SCK CEN bat un record du monde

20 000 heures de test de corrosion : 7 000 heures de plus que le précédent détenteur du record du monde

Vers 2036, le SCK CEN terminera la construction de l'infrastructure de recherche innovante MYRRHA, une installation unique au niveau mondial. Les préparations battent leur plein et la recherche sur les matériaux joue un rôle clé à cet égard. « Durant les tests de corrosion, nos matériaux de structure ont battu tous les records. Tout indique qu'ils restent indemnes durant le temps de séjour requis dans le cœur du réacteur », déclarent les chercheurs impliqués.

Un complexe de tubes étincelants domine le hall de technologie du SCK CEN, où de nombreuses expériences ont été réalisées pour la future infrastructure de recherche innovante MYRRHA. Cet imposant complexe de tubes constitue la boucle de corrosion la plus puissante au monde contenant un eutectique de plomb et de bismuth liquide. L'installation dénommée CRAFT pompe en continu 400 litres de plomb-bismuth à travers les tubes à une vitesse de 2 mètres par seconde. Cette boucle vise à valider la résistance à la corrosion des matériaux de structure sélectionnés, dans le cadre du projet MYRRHA, suite au contact avec le plomb-bismuth liquide.

Erich Stergar, chercheur au SCK CEN et coordinateur de la recherche sur la structure des matériaux : « Le plomb-bismuth est un métal liquide avec lequel nous refroidirons le cœur de MYRRHA. Nous devons nous assurer que les matériaux de structure sélectionnés pourront résister sans problèmes aux conditions extrêmes dans le réacteur de recherche. L'installation CRAFT est un outil crucial pour déterminer la corrosion autorisée dans des composants tels que les éléments combustibles, les tubes caloporteurs, la cuve du réacteur et les autres composants. »

### Un record du monde

En 2019 les chercheurs du SCK CEN ont mené une expérience de corrosion à grande échelle. L'enveloppe en acier inoxydable qui contiendra le combustible, a passé plus de 20 000 heures à 400°C dans le plomb-bismuth liquide. « Nous avons réalisé un nouveau record du monde », s'exclame Stergar. Le précédent record détenu par le Karlsruhe Institute of Technology en Allemagne affichait 13 000 heures au compteur. Si les matériaux ont résisté à la corrosion ? « Oui, sans aucun doute », affirme-t-il.

Quoique les conditions soient encore plus extrêmes durant cette expérience que dans l'infrastructure finale. Dans la cuve de réacteur de MYRRHA, la température oscillera entre 220°C et 400°C. L'ingénieur Rafaël Fernandez qui travaille à la conception de MYRRHA explique : « Dans les éléments combustibles, nous mesurons localement des températures qui peuvent aller jusqu'à 400°. Pour refroidir le cœur, on fait couler un liquide plomb-bismuth à travers le cœur. Au moment où le plomb-bismuth entre dans le cœur, sa température est de 220°. A la sortie du cœur, le liquide a une température moyenne de 306°C. »



**Si les matériaux résistent à la corrosion ? Oui, bien sûr !**

Erich Stergar

## Le pire des cas

Les composants de MYRRHA ne seront donc pas continuellement exposés à une température de 400°C alors que dans l'expérience de corrosion à grande échelle, c'était le cas. « Plus la température est élevée, plus il y a de corrosion », déclare Fernandez. Dans MYRRHA, les éléments combustibles restent dans le cœur du réacteur durant 18 cycles, mais ils ne supportent une température de 400°C que durant deux cycles. « Notre expérience a

duré 20 000 heures soit 9,3 cycles. Nous avons donc bien examiné le pire des scénarios », poursuit-il.

Ce sont ces variations de température qui font l'objet du suivi des recherches. En 2020, les chercheurs simuleront les conditions réelles dans MYRRHA et soumettront les matériaux de structure à diverses températures dans le plomb-bismuth liquide.

« L'objectif est de qualifier le matériau de base », explique Stergar. Ce faisant, les chercheurs n'ont franchi qu'un nouvel obstacle. « MYRRHA n'est pas

seulement composé de matériaux de base. Les matériaux de base sont soudés ou assemblés de telle sorte qu'ils puissent se mouvoir. Comment ces assemblages réagiront-ils à des conditions extrêmes ? Dans quelles mesures seront-ils résistants à la corrosion ? Leur remplacement sera-t-il aisé ? C'est à toutes ces questions que nous voulons répondre dans les prochaines étapes de notre recherche », conclut le chercheur.



## Un peu d'oxygène fait respirer le matériau

Comment se produit la corrosion ? La gaine en acier inoxydable qui entoure le combustible est un alliage de fer, de chrome, de nickel et de carbone. Le mélange plomb-bismuth qui s'écoule le long du tube, ronge le nickel – et dans une moindre mesure le chrome – de l'acier. De ce fait, l'épaisseur de la gaine change : elle s'amincit. « La gaine est la première barrière physique du combustible d'uranium et ne peut donc pas se désintégrer », explique le chercheur Stergar. Pour éviter cela les scientifiques ajoutent un dé à coudre d'oxygène. « Lorsque l'acier inoxydable entre en contact avec l'eau, une fine couche se forme et va protéger l'acier. Avec le plomb-bismuth liquide, on doit seulement ajouter un tout petit peu d'oxygène pour obtenir cette même couche de protection. Cependant la concentration doit être très limitée, juste assez pour créer cette couche de protection mais pas suffisamment pour oxyder le plomb-bismuth. Cela bloquerait le refroidissement du cœur. » Les chercheurs visent une valeur de 10-7 pourcents en poids dans le plomb-bismuth liquide, ce qui correspond à environ 1 gramme d'oxygène pour 1000 tonnes de plomb-bismuth. La cuve du réacteur MYRRHA contiendra 7600 tonnes de plomb-bismuth. Un dé à coudre d'oxygène devrait alors suffire.



**Plus la température est élevée, plus il y a de corrosion. Nous avons donc étudié le pire des scénarios.**

Rafaël Fernandez



## Sa Majesté le Roi en visite au SCK CEN

Sa Majesté le Roi a effectué une visite de travail le 26 juin 2019 au SCK CEN à Mol. La raison de cette visite était la décision du gouvernement de 2018 de construire MYRRHA en Belgique, une première mondiale. « Cette nouvelle infrastructure de recherche unique va attirer des jeunes chercheurs dynamiques du monde entier », se réjouit Hamid Aït Abderrahim, directeur général adjoint du SCK CEN et directeur du projet MYRRHA. Grâce à la décision du gouvernement, la réalisation de MYRRHA a fait un grand bond en avant. C'est ce que Sa Majesté le Roi a pu constater durant sa visite de travail.



### Transformer des rêves en actions

« *Exploring a better tomorrow* ». Ainsi sonne notre nouveau slogan. Il reflète parfaitement notre mission : développer des applications innovantes pour la société. L'ingéniosité scientifique est nécessaire pour trouver de nouvelles idées, mais ce n'est qu'avec une gestion de projet stricte que nous transformons cette idée en réussite. Que voulons-nous réaliser ? Quels sont les jalons du projet ? Quand sommes-nous censés les livrer ? Nous continuons à nous poser ces questions, afin de continuer à travailler ensemble efficacement. Notre regard sur la date convenue, notre vision de la société.

— **Adrian Fabich**  
Design et construction de MINERVA

# 2040

## Comment nous préparons-nous pour des voyages dans l'espace de plus en plus lointains ?

SCK CEN envoie des bactéries et des rotifères dans l'espace

L'an dernier, la station spatiale internationale ISS avait des invités spéciaux à son bord : de minuscules organismes de 1 micromètre à 1 millimètre de longueur. Ils ne sont pas visibles à l'œil nu. Et pourtant, malgré leur petite taille, ils peuvent répondre à de nombreuses questions qui se posent dans l'espace. Sont-ils la porte d'entrée pour Mars en 2040 ?





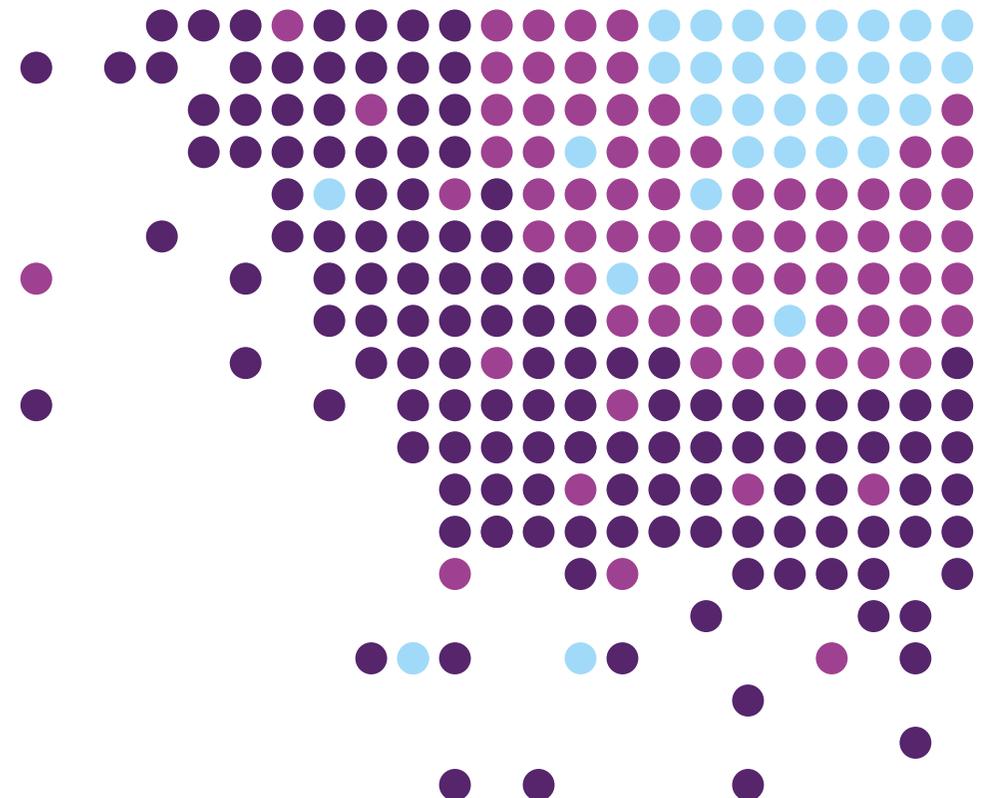
Des millions de kilomètres nous séparent de Mars. Pourtant, ce n'est pas la distance physique qui empêche l'accès à la planète rouge si convoitée. De nombreux obstacles tels que l'apesanteur, les rayonnements cosmiques et un approvisionnement en eau et en nourriture limité jalonnent la route pour emmener l'Homme sur Mars. L'apesanteur de longue durée et les rayonnements cosmiques affectent entre autres la vision, fragilisent les os et augmentent le risque de cancer. De plus, un voyage aller-retour vers Mars de 2,5 à 3 ans sans approvisionnement en eau et en nourriture est irréalisable. On estime que 25 tonnes de nourriture et de boissons devraient être embarquées par passager et les engins spatiaux actuels ne sont pas équipés pour cela. En outre, chaque kilo coûte des tonnes d'argent ; le poids doit donc être limité.

Heureusement, la recherche spatiale est en perpétuel mouvement. Les chercheurs travaillent d'arrache-pied à des solutions et des technolo-

gies innovantes pour surmonter ces obstacles. Après tout, les mystères que nous pouvons percer sur Mars et d'autres planètes sont d'une valeur inestimable pour améliorer la vie sur terre. Ils donnent un coup de pouce à nos connaissances scientifiques et conduisent à des découvertes et innovations cruciales. SCK CEN soutient également ces recherches pionnières. En 2019, avec des partenaires (inter)nationaux, il a réalisé deux expériences dans l'espace : l'une avec des bactéries, l'autre avec de minuscules rotifères.

### Des bactéries comme 'matière première' pour l'agriculture sur la lune

Avant de mettre un pied sur Mars, l'agence spatiale américaine, la NASA, prévoit d'envoyer à nouveau en 2024 des hommes sur la Lune pour y établir une base permanente. A une distance de quelque 385.000 kilomètres, notre voisine la plus proche dans l'espace constituera un tremplin





**Nous avons un aperçu des possibilités pour obtenir des nutriments en les extrayant de la surface lunaire. Nous pouvons donc parier que ces nutriments peuvent être utilisés comme matières premières pour produire de la nourriture dans l'espace.**

Rob Van Houdt



vers Mars. « Les habitants du futur village lunaire, comme les astronautes, ne peuvent pas l'espace d'un instant, revenir sur terre pour se ravitailler. Ils doivent produire leur eau, leur nourriture et leur oxygène sur place », déclare Natalie Leys, microbiologiste au SCK CEN. Mais comment ? Semer et cultiver des plantes sur le sol lunaire, puis les récolter, est-ce possible ?

Pour répondre à cette question, des chercheurs du SCK CEN, du Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt et de l'Université d'Edinburgh ont envoyé l'été dernier des bactéries et de la roche de basalte dans l'espace. « Le basalte est une pierre volcanique que l'on trouve aussi sur la Lune », explique Rob Van Houdt, chercheur au SCK CEN et coordinateur du projet. « Nous vérifions si les bactéries adhèrent à ce type de roche lunaire et si elles se développent. Sous l'influence de la microgravité et des rayonnements cosmiques, les nutriments nécessaires peuvent-ils se libérer de la roche lunaire et, dans une phase ultérieure, d'altérer la roche pour en faire un sol plus 'fertile' ? Ensuite on pourrait utiliser ces nutriments comme matières premières pour la production de nourriture. Et voilà, nous avons l'agriculture dans l'espace. »

#### Moins dépendant des ressources terrestres

Les partenaires ont étudié le comportement de trois bactéries sur la roche lunaire : *Sphingomonas desiccabilis*, *Cupriavidus metallidurans* et *Bacillus subtilis*. Van Houdt : « Pour rendre le sol fertile, on doit savoir quelle bactérie est la plus adaptée. Quelle bactérie constitue la bonne matière première pour ainsi dire. Nous avons montré que la première bactérie a libéré le plus de nutriments, la seconde tout autant et la troisième moins. » Il est encore trop tôt pour creuser le sol lunaire et y planter des légumes, mais les résultats nous

mènent à une meilleure compréhension du *biomining*. « En d'autres termes, nous avons un aperçu des possibilités pour obtenir des nutriments en les extrayant de la surface lunaire. Cela nous donne l'occasion d'améliorer ces processus et, en fin de compte, de nous rendre moins dépendants de ressources terrestres précieuses », poursuit Van Houdt.

#### Rotifères : bien adaptés à la vie dans l'espace

En automne, six mois après l'expérience de vol spatial avec les bactéries, l'Université de Namur et le SCK CEN ont envoyé un chargement de rotifères du Kennedy Space Center en Floride vers l'ISS. « Les rotifères survivent dans le vide spatial et résistent plus facilement aux doses élevées de rayonnement et même à la déshydratation. C'est remarquable parce que leur structure cellulaire ressemble à celle de l'homme », explique Sarah Baatout, radiobiologiste au SCK CEN. Avec cette expérience dans l'espace, les partenaires de



**Cette recherche peut jouer un rôle dans le développement de procédés pour augmenter la résistance aux rayonnements des astronautes.**

Sarah Baatout

recherche espèrent lever le voile sur les causes sous-jacentes de ce constat. Baatout : « Ces éclaircissements pourraient jouer un rôle important dans le développement des moyens d'accroître la résistance aux rayonnements des astronautes lors des futurs voyages dans l'espace. »

Les rotifères se sont déplacés en orbite autour de la terre durant deux semaines, au cours desquelles ils ont été soumis aux conditions spatiales. Après un vol réussi, les scientifiques ont étudié le comportement des animaux en matière de reproduction, d'expression génétique et de la structure du génome. Boris Hespeels, biologiste à l'UNamur : « L'expression des gènes envoie aux cellules le signal de fabriquer des protéines. Ce signal est nécessaire, notamment, pour réparer les dommages causés à l'ADN. Grâce à l'étude en détail de l'expression des gènes, nous pouvons identifier quels processus se produisent au sein des rotifères et par là quels mécanismes les protègent de l'environnement spatial. Ensuite, nous vérifions dans leur génome si l'ADN endommagé a été correctement réparé. Un génome mal réparé peut mener à l'infertilité, à des anomalies génétiques chez la progéniture ou même à la mort. »

### La progéniture sous la loupe microscope

L'UNamur et le SCK CEN ont aussi gardé sur terre quelques rotifères et les ont traités dans des conditions similaires que celles de l'espace. Karine Van Doninck, biologiste à l'UNamur : « En comparant l'état des rotifères ayant séjourné dans l'espace avec celui de ceux restés sur terre, nous pouvons étudier l'impact des conditions spatiales extrêmes sur les rotifères qui y ont été exposés. Comment est leur progéniture par exemple ? Etant donné qu'ils se clonent et se reproduisent ainsi sans rapport sexuel, ils copient également



## La recherche a aussi son utilité sur terre. Pensons par exemple à la protection des patients atteints d'un cancer ; ceux-ci peuvent être mieux protégés des effets négatifs des rayonnements durant leur thérapie.

Bjorn Baselet

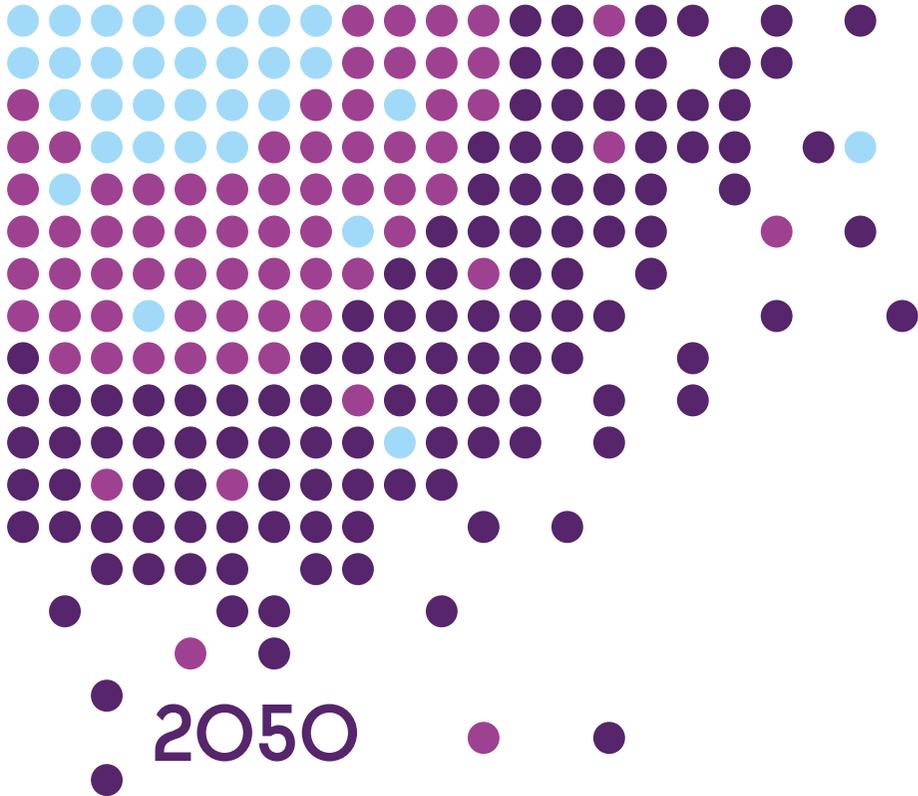
les erreurs possibles qui sont apparues lors de la réparation de l'ADN. »

Les rotifères montrent que malgré l'influence des rayonnements cosmiques, ils peuvent réparer leur ADN sans aucun problème. Des études complémentaires devraient démontrer par quels mécanismes ils y arrivent. Ces résultats ouvrent la voie à d'autres explorations dans l'espace, mais montrent aussi l'utilité de ces recherches sur terre. Le radiobiologiste Bjorn Baselet du SCK CEN : « Nos résultats peuvent, par exemple, mener à des méthodes visant à mieux protéger les personnes professionnellement exposées ou les patients atteints d'un cancer contre les effets délétères de l'exposition aux rayonnements. »



### L'homme superflu

Les rotifères sont microscopiques (200 micromètres à 1 millimètre). Ils vivent dans les lacs et les rivières, sur les mousses, en milieu humide, sur les troncs d'arbre, les rochers et les résidus de feuilles. Certaines espèces, comme le rotifère bdelloïde, se reproduisent sans sexe. Les femelles se clonent pour ainsi dire. Le rotifère doit son nom aux cils qui sont implantés en couronne autour de la bouche et qui peuvent tourner comme une roue à une vitesse folle. De ce fait, l'eau s'écoule dans la bouche et il filtre sa nourriture. L'UNamur et le SCK CEN ont envoyé le rotifère bdelloïde *Adinetida vaga* dans l'espace. Un nouveau vol est prévu à l'automne 2020 et en 2023.



2050

## La fusion nucléaire : le soleil en boîte

Le SCK CEN teste des matériaux de structure pour un réacteur de fusion nucléaire

**Pendant deux ans, le SCK CEN a testé des matériaux de structure pour le réacteur de fusion ITER dans son réacteur de recherche BR2. Les matériaux ont été soumis à un haut flux de neutrons jusqu'à une température de 1.200°C. En 2019, la campagne d'irradiation a été achevée et le réacteur d'essai de fusion du centre de recherche français à Cadarache a fait un pas de plus vers son objectif : démontrer la faisabilité technique et scientifique de la fusion nucléaire. « Jamais dans l'histoire du SCK CEN, nous n'avons atteint des conditions aussi extrêmes », déclare Dmitry Terentyev, coordinateur du projet.**





Le soleil sur terre. Une étoile dans un bocal. Beaucoup de surnoms circulent pour la fusion nucléaire, la technique qui imite la production d'énergie du soleil. Concrètement, cela consiste en deux noyaux d'atome d'hydrogène qui entrent en collision et fusionnent en créant un noyau plus lourd (hélium). La fusion nucléaire pourrait fournir une quantité d'énergie presque illimitée sans émettre de gaz à effet de serre. Dans la lutte contre le changement climatique, cela sonne comme une douce musique à l'oreille. Cette technologie devrait également produire moins de déchets radioactifs à durée de vie longue que l'énergie nucléaire « conventionnelle ».

Il faudra encore attendre un certain temps pour avoir une installation de fusion nucléaire opérationnelle. Au centre de recherche français de Cadarache, le SCK CEN travaille au réacteur d'essai de fusion ITER avec une équipe internationale de scientifiques. Le projet ITER doit démontrer la faisabilité technique et scientifique de la fusion nucléaire en tant que source d'énergie utilisable à l'avenir. En 2050, le réacteur ITER sera suivi de DEMO, un prototype de réacteur industriel de fusion nucléaire. Ce prototype devrait faire la lumière sur les possibilités de production commerciale d'électricité.

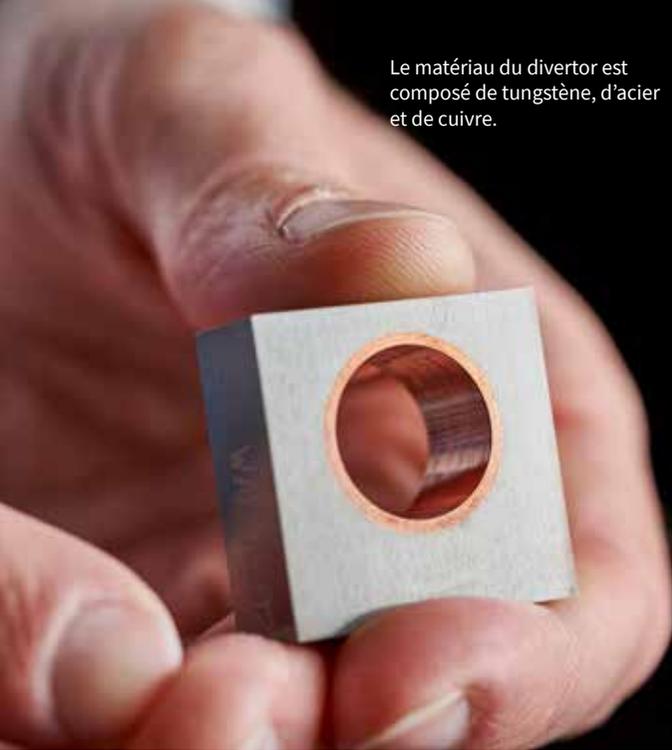
### Des matériaux qui résistent aux radiations

Les défis techniques et pratiques de la fusion nucléaire sont énormes. L'un des problèmes les plus complexes est l'effet du rayonnement sur les équipements, la robotique et les matériaux de structure du réacteur. Dans ce cadre, les scientifiques du SCK CEN ont mené l'an dernier une campagne pluriannuelle d'irradiation dans le réacteur de recherche BR2.

« Durant la campagne, nous avons qualifié les matériaux qui entreront dans le réacteur de fusion. Il s'agissait, entre autres, des matériaux pour la 'première paroi' qui est directement exposée au plasma », explique Dmitry Terentyev, expert en fusion nucléaire. « Durant deux ans, nous avons soumis les matériaux à un haut flux de neutrons jusqu'à une température de 1.200 °C. Afin d'approcher au mieux les conditions de la fusion, nous avons développé le dispositif d'irradiation HTHF (*High Temperature High Flux*). Jamais auparavant dans l'histoire du SCK CEN, nous n'avions testé des matériaux de structure dans des conditions aussi extrêmes. » Dans une prochaine phase, les scientifiques vont cartographier les caractéristiques thermiques, mécaniques et micro-mécaniques des matériaux irradiés. A cette fin, le SCK CEN travaille en collaboration avec des instituts de recherche en Allemagne, Italie, Suisse et Grèce.

### Le choix du fournisseur

Pour la campagne d'irradiation, les matériaux de structure ont séjourné durant deux ans dans le réacteur de recherche BR2. « C'était le minimum requis pour simuler la vie entière des matériaux dans ITER », poursuit Terentyev. « Nous avons principalement étudié les possibilités du tungstène, de l'acier et du cuivre. Le tungstène dans ITER doit servir d'armure pour le divertor, un composant qui élimine la chaleur et les cendres du réacteur de fusion afin de ne pas polluer le plasma. C'est dans le divertor que les températures sont les plus élevées. La paroi extérieure du divertor, qui est refroidie à l'eau, est réalisée en tungstène. Le tuyau interne dans lequel l'eau s'écoule est en cuivre. L'acier doit supporter la structure de cuivre et de tungstène. »



Le matériau du divertor est composé de tungstène, d'acier et de cuivre.

Les matériaux de base pour le réacteur d'essai de fusion ont déjà été sélectionnés au préalable. Le SCK CEN est maintenant en phase de qualification des matériaux produits par différents fournisseurs. « La réaction du tungstène, de l'acier ou du cuivre aux effets des rayonnements ionisants peut varier de fournisseur à fournisseur », déclare Dmitry Terentyev. « Cela dépend par exemple de la composition du matériau, du processus de production et des installations utilisées. En 2020 et 2021, le SCK CEN va analyser les dommages et les processus de vieillissement des matériaux irradiés. »

### Un niveau TRL plus élevé

La campagne d'irradiation terminée, la réalisation d'ITER fait un pas de plus. « Nous repartons à la hausse au niveau TRL », annonce fièrement Terentyev. TRL (*Technology Readiness Level*) signifie « niveau de préparation de la technologie » et fait référence au degré de développement auquel se situe une nouvelle technologie. L'échelle comporte 9 niveaux, de 1 (recherche) à 9 (introduction sur le marché). « Pour le tungstène, nous sommes à un niveau 4 et pour l'acier à un niveau 5. Dans le cas du cuivre, il y a eu une fragilisation inattendue du matériau. Nous devons donc ajuster le concept avant de pouvoir passer à la prochaine phase TRL. »

La recherche de fusion ITER s'inscrit dans le projet EUROfusion, un partenariat H2020 entre l'Euratom et des pays de l'Union Européenne, la Suisse et l'Ukraine. Pour la prochaine étape de recherche, le SCK CEN travaille avec des partenaires internationaux pour développer un nouveau dispositif d'irradiation afin de tester les matériaux de structure des cellules de combustible d'ITER. Le SCK CEN continue donc d'étendre les capacités d'irradiation dans le réacteur de recherche BR2 afin de répondre aux besoins de la recherche sur la fusion nucléaire.



**Durant deux ans, nous avons simulé les effets de la fusion nucléaire sur les matériaux de structure. Jamais auparavant nous n'avions atteint des circonstances aussi extrêmes.**

Dmitry Terentyev





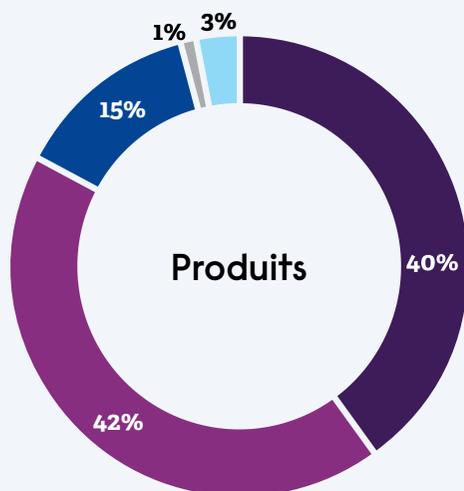
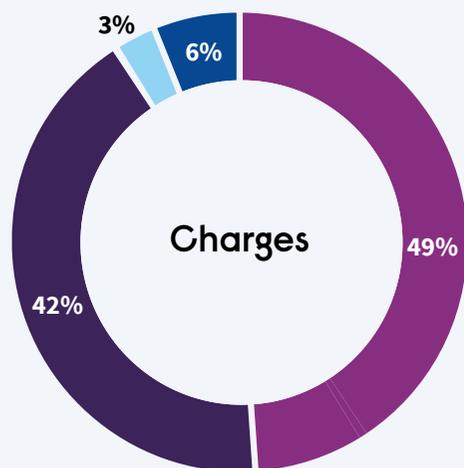
### Un centre de connaissances de classe mondiale

Comparez des projets à grande échelle tels que MYRRHA ou ITER avec l'ascension du Mont Everest. Le sommet est l'objectif ultime, mais le chemin direct pour l'atteindre est impraticable. C'est pourquoi nous prenons un chemin alternatif, un peu plus long : un chemin avec de multiples voies d'accès pour connecter des jeunes chercheurs et célébrer des succès intermédiaires. Cela crée un sentiment de groupe et une certaine motivation.

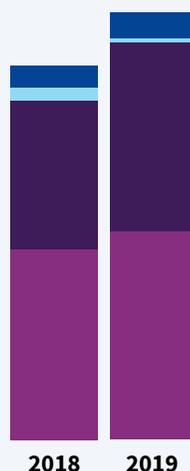
— **Hamid Aït Abderrahim**  
Directeur général adjoint et directeur de MYRRHA

# Chiffres clés

## Budget



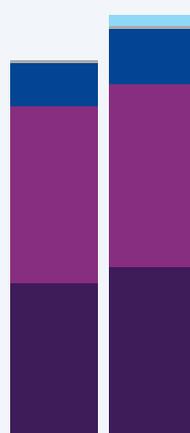
## Evolution du budget



### Charges (en kEUR)

	2018	2019
Rénumérations	82.686	90.221
Achats, services	64.434	78.253
Provisions	5.762	6.138
Amortissements	9.726	11.201
<b>TOTALE</b>	<b>162.608</b>	<b>185.813</b>

2018 2019



### Produits (en kEUR)

	2018	2019
Chiffre d'affaires	66.256	73.473
Dotation fédérale, subsides en capital	76.897	76.723
Autres	18.745	26.528
Produits financiers	1.196	1.093
Produits exceptionnels	156	4.792
<b>TOTALE</b>	<b>163.250</b>	<b>182.609</b>

2018 2019

Actif dans 59 pays  
(en violet sur la carte)



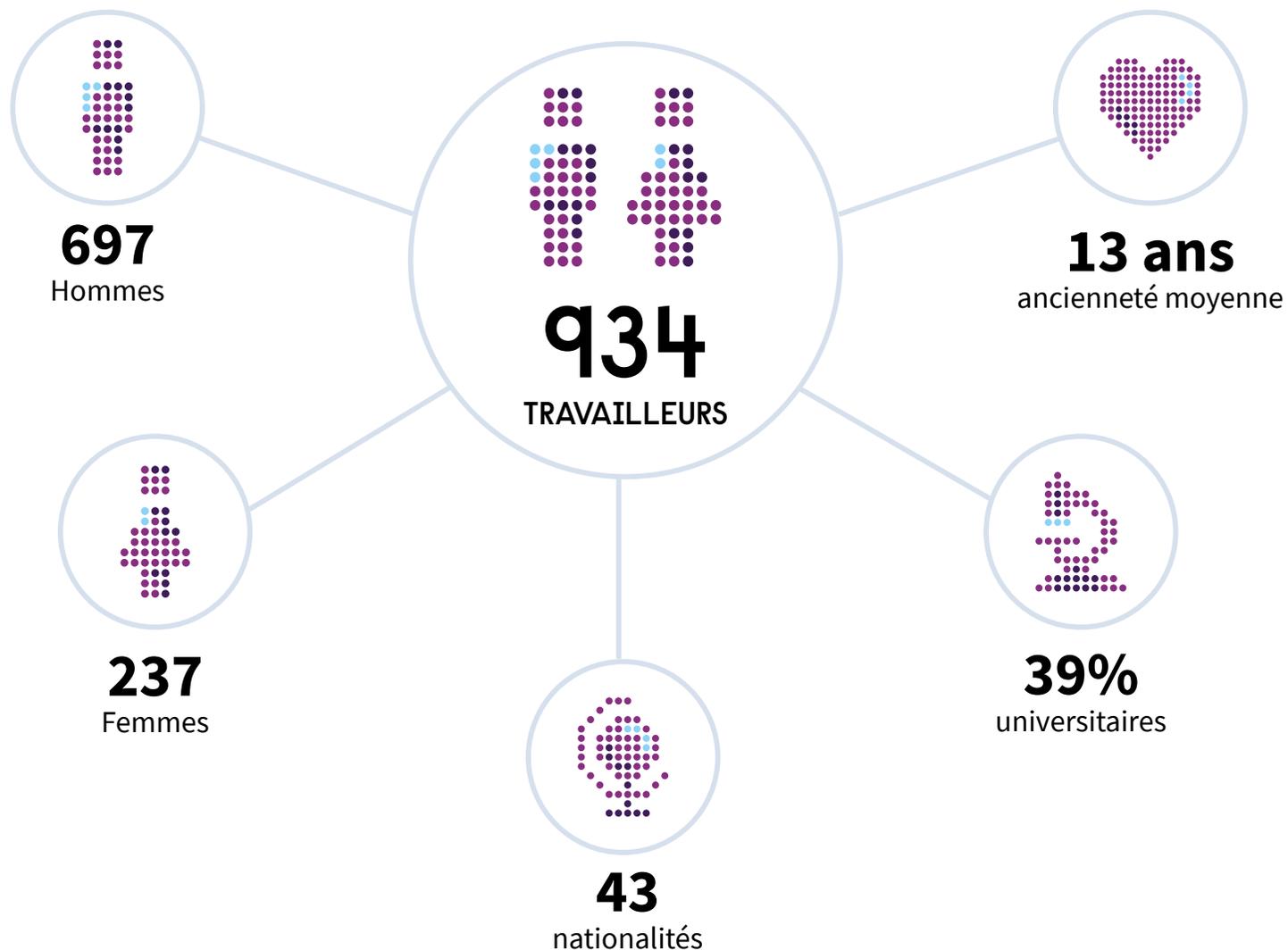


### Sous le sceau de l'innovation

Une entreprise ne peut vraiment innover que si elle planifie ce qu'elle veut réaliser. Je peux fièrement affirmer que le SCK CEN est un tel innovateur. Les plans ambitieux réalisés au cours des dernières années prennent petit à petit forme. C'est visible sur le terrain mais cela se reflète également dans les chiffres. Le SCK CEN est en croissance : plus de collaborateurs, plus de revenus. Dans le même temps, l'innovation est une jonglerie habile entre la science, l'organisation et la gestion budgétaire. Nous voulons continuer à montrer notre force dans l'innovation sans perdre pied. Plus que jamais, nous comptons sur chaque collaborateur pour mener à bien nos plans et demeurer une organisation saine.

— **Kathleen Overmeer**  
Services Généraux et Administration

## Personnel



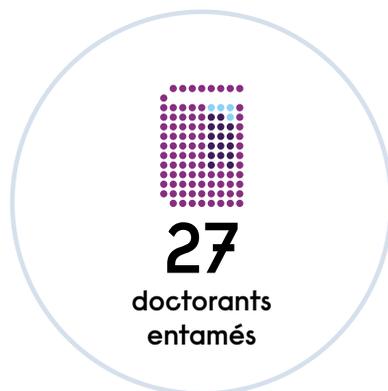
## Publications



## Formation et recherche



35% de Belgique  
65% de l'étranger



1956 participants

### Valoriser via les réseaux

En 2006, la Flandre comptait 34.706 travailleurs à temps plein dans le secteur de la recherche et du développement (R&D). En 2018, ce chiffre grimpe à 53.933 travailleurs, soit une augmentation de 55%. La Flandre – et par extension la Belgique – est donc fortement axée sur la recherche et l'innovation. « Nous avons beaucoup d'atouts dans notre manche pour exploiter ce potentiel et avoir un impact sur la société. Le SCK CEN veut se positionner de manière stratégique dans ce domaine », raconte Pascal De Langhe, directeur du département Business Development & Support. « Nous jetons un pont entre les chercheurs et les différents acteurs du marché : de l'énergie nucléaire au secteur industriel en passant par le médical, qui sollicite de plus en plus notre attention. Pour ce faire, nous entamons le dialogue, nous mettons en place des collaborations en réseaux et nous créons des consortiums et décrochons un soutien financier si nécessaire. En tant que centre de connaissances, nous veillons également à la conservation des connaissances acquises. »





# sck cen

## 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 850 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
- Le développement de la médecine nucléaire
- La protection de la population et de l'environnement contre le rayonnement ionisant



## SCK CEN

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

Wendy De Grootte (SCK CEN)

### Graphisme

Pantarein Publishing

### Photographie

Roel Dillen  
Klaas De Buysser

### Impression

IPM Printing



Copyright © 2020 – SCK CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2020). Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable du SCK CEN.