

l'essentiel

# 2016



# 20

# 16

## « 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**  
2016

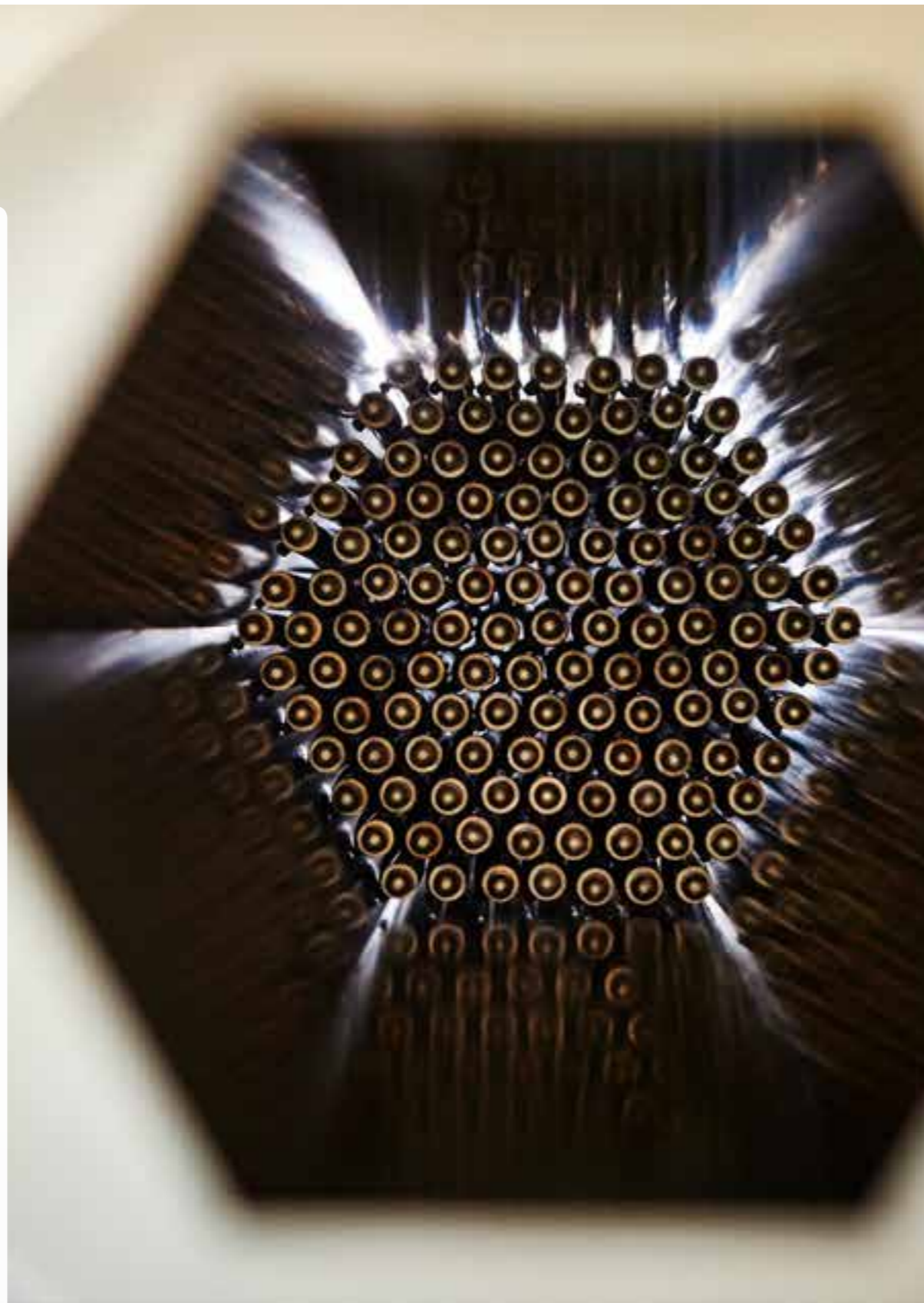
## CHER LECTEUR,

Les années se suivent et ne se ressemblent pas : 2015 fut riche en défis de toute sortes ; 2016 s'avéra davantage tumultueuse, ajoutant aux projets planifiés une série d'actions imprévues. Les conséquences de la tragique attaque terroriste de Bruxelles nous ont conduits à accélérer l'implémentation de notre plan de sécurisation et à renforcer nos services de sécurité, tout en instaurant rapidement une collaboration étroite et efficace avec les militaires déployés sur notre site.

Des circonstances inattendues qui ne nous ont cependant pas empêchés de réaliser l'ensemble de nos ambitieux projets, comme vous le découvrirez dans ce rapport annuel.

Notre nouveau plan stratégique redéfinit les contours de l'avenir de notre centre de recherche. Plus que jamais, nous voulons concentrer nos efforts dans les domaines-clés où nous pouvons apporter - grâce à nos scientifiques, notre expertise et nos infrastructures uniques- une réelle valeur ajoutée à notre Société.

Notre réacteur de recherche BR2 a réussi haut la main son lifting en profondeur. Un redémarrage en temps voulu qui a été célébré par la Communauté scientifique et médicale lors d'une séance académique en présence de Son Altesse Royale la Princesse Astrid. Au BR2, nous redoublerons d'efforts afin de produire de nouveaux radio-isotopes médicaux encore plus efficaces pour lutter contre le cancer. Gravée au cœur de notre plan stratégique, la médecine nucléaire sert d'ailleurs de fil rouge dans le développement de nombreuses disciplines du SCK•CEN. Et saviez-vous que d'anciennes sources de thorium pouvaient se révéler de rares et précieux atouts dans la mise au point de nouveaux traitements contre le cancer ? Découvrez dans ce numéro les avancées réalisées par nos chercheurs dans le domaine de la *Targeted Alpha Therapy*.



Le projet MYRRHA va également de l'avant avec son nouveau plan d'implémentation en phases. Première étape au programme de cette installation de recherche polyvalente : la construction de l'accélérateur et de stations expérimentales pour la production de radio-isotopes et la recherche sur les matériaux. Cette édition 2016 vous dévoilera également le généreux coup de pouce d'Archimède dans la conception du réacteur MYRRHA, mais aussi la découverte de matériaux de structure particulièrement innovants et prometteurs pour les réacteurs de 4e génération.

L'eau est une ressource vitale et essentielle pour notre monde. Mais aussi pour nos scientifiques. L'eau joue en effet un rôle crucial dans nos recherches sur l'enfouissement géologique dans les couches d'argile profondes, à quelque 225 mètres de profondeur. Tout comme en surface, où l'eau que vous consommez quotidiennement est scrupuleusement contrôlée dans nos laboratoires.

Au niveau international, notre centre de recherche s'est à nouveau distingué en 2016 au travers des nombreuses distinctions décrochées par ses jeunes chercheurs et des fonctions de premier plan confiées à ses experts, notamment dans le prestigieux conseil scientifique des Nations Unies UNSCEAR.

Enfin, comment les applications pour les missions spatiales de longue durée développées dans les Campines peuvent-elle atterrir en Afrique ? You will be 'Inspired' to read it !

**Eric van Walle**  
Directeur Général  
du SCK•CEN



# 01

## L'avenir se prépare maintenant

- 06 Nouveau plan stratégique du SCK•CEN
- 10 Le rôle d'un centre de recherche dans notre société
- 12 La sûreté et la sécurité pour priorités
- 14 Le réacteur de recherche BR2 prêt pour de nouveaux défis

# 02

## Coup d'accélérateur pour MYRRHA

- 20 Implémentation en phases
- 23 Tests concluants sur le comportement des composants
- 26 Une boucle de corrosion unique en son genre
- 28 Matériaux de structure pour les réacteurs de 4<sup>e</sup> génération

# 03

## La technologie au service de l'innovation

- 32 Fusion: une campagne d'irradiation inédite dans le BR2
- 36 Plongée à 225 mètres sous terre dans l'argile de Boom
- 40  $U_3O_8$  : la pièce manquante du puzzle
- 43 Nouvelles perspectives dans le traitement contre le cancer

# 04

## Contribuer aux grands défis sociétaux

- 48 Hans Vanmarcke à la tête du comité UNSCEAR des Nations Unies
- 52 Vers de meilleurs traitements diagnostiques et thérapeutiques
- 57 Rôle majeur dans la surveillance radiologique de l'eau potable
- 59 Faire de la Science pour et avec les gens
- 62 Propulser les recherches spatiales au Congo

# 05

## Chiffres clés



**L'avenir  
se prépare  
maintenant**

**01**

# Une vision claire de l'avenir

## Nouveau plan stratégique du SCK·CEN

« Nous ne pouvons prédire l'avenir, mais nous pouvons nous y préparer. » Frank Hardeman, directeur général adjoint, explique les fondements de la nouvelle stratégie du SCK·CEN. « Il ne s'agit pas d'une rupture avec le passé, mais plutôt d'une réorientation. Notre plan stratégique forme une vision équilibrée qui soutient les décisions futures sur la recherche, les installations et les collaborateurs. »

Si toutes les activités du SCK·CEN se concentraient auparavant sur l'énergie nucléaire, cette époque est désormais révolue. « La recherche, la prestation de services et le renforcement des connaissances sur l'utilisation sûre de l'énergie nucléaire restent bien sûr fondamentaux », explique Frank Hardeman. « Mais le monde change. Avec le vieillissement de la population et l'attention portée à la santé, nous sommes de plus en plus actifs dans les développements médicaux. Nous sommes également un centre de connaissances de pointe pour la problématique des déchets nucléaires et les aspects du démantèlement. »

### Infrastructures performantes

Qui dit expertise dit forcément infrastructures performantes. « Nous venons de terminer avec succès la rénovation du réacteur BR2 et nous préparons minutieusement l'infrastructure de recherche MYRRHA. L'innovation est pour nous cruciale et passe au travers d'installations de pointe. Exemple avec



« Avec le vieillissement de la population et l'attention portée à la santé, nous sommes de plus en plus actifs dans les développements médicaux. »



« Notre groupe de jeunes scientifiques internationaux regorge d'énergie ! »

### Un contexte moderne

Dans le même temps, le SCK·CEN veut entretenir des relations constructives avec le monde scientifique, les autorités de sécurité, les partenaires gouvernementaux et industriels, tant en Belgique qu'à l'étranger : « Nous visons une coopération structurelle avec les pays qui font autorité dans le monde et qui font appel à nous pour nos infrastructures ou nos connaissances qu'ils ne possèdent pas. »

Le personnel apprécie de travailler pour le centre de recherche. « Il y a peu de roulement de personnel », constate Frank Hardeman. « Nous offrons à nos collaborateurs un contexte moderne, une sécurité financière et des opportunités de développement. Nous les familiarisons donc au savoir-être (*soft skills*), donnons davantage de responsabilités aux cadres intermédiaires et développons entièrement le système de gestion intégrée. »

« L'équilibre entre la science pure et les applications commerciales servira de fil conducteur dans nos décisions. Nous encourageons notre personnel à faire de la recherche et du développement comme activité générant des revenus pour le SCK·CEN. Mais nous restons un institut équilibré et nous tenons à conserver le volet scientifique de nos activités. »

« En 2017, nous allons mettre notre plan stratégique en musique » conclut Frank Hardeman. « Nous développons un plan d'action et mettons en place un outil de suivi. C'est le moment idéal pour concrétiser les choses. Notre groupe de jeunes collaborateurs internationaux regorge d'énergie. Vous allez encore souvent entendre parler du SCK·CEN ! »

le Laboratoire de haute et moyenne activité (LHMA) pour la recherche sur la post-irradiation, le laboratoire souterrain HADES, notre futur campus pour la recherche nucléaire médicale et une dizaine d'autres installations. »

« Le SCK·CEN a toujours joué un rôle clé au niveau du transfert des connaissances, tant au niveau national qu'international », poursuit Frank Hardeman. « Nous voulons structurer encore davantage notre activité dans ce domaine, tant pour construire, gérer que diffuser ces connaissances, via notre Learning Centre et notre Academy. Notre département Ressources Humaines est lui aussi impliqué pour développer activement la gestion des compétences de notre personnel. »

# Regarder résolument vers l'avenir, même en temps incertains

Quel rôle joue le SCK•CEN dans notre société ?

Le SCK•CEN a-t-il encore un rôle à jouer dans notre société ? « Plus que jamais », affirme son secrétaire général Christian Legrain. Le centre de recherche entend asseoir encore davantage sa réputation de référence en termes d'objectivité et de recherche scientifique innovante.

La problématique de l'énergie n'est, à l'heure actuelle, toujours pas abordée de façon objective. En Europe Occidentale surtout, où idéologues et gourous donnent le ton. Quel est le rôle du SCK•CEN dans ce contexte ?

**Christian Legrain** : Restons sérieux et continuons nos activités en suivant la même ligne directrice : faire de la recherche, agir en tant que centre d'expertise, se baser sur des faits, fournir des chiffres, vulgariser une science complexe pour la rendre compréhensible de tous. Bref, pratiquer la science de manière adulte. Le SCK•CEN a toujours mené des recherches pointues et veut garder ce regard objectif sur tout ce qui concerne l'énergie nucléaire. Jamais subjectif, toujours fondé. C'est important dans une société qui perd les pédales à cause de la masse d'informations qui nous inonde via Internet et les réseaux sociaux. Le rôle de l'expert doit rester central dans des domaines tels que l'énergie et les soins de santé, où la technologie nucléaire a sans aucun doute un rôle crucial à jouer.

« Le SCK•CEN a toujours mené des recherches pointues et veut garder ce regard objectif sur tout ce qui concerne l'énergie nucléaire. Jamais subjectif, toujours fondé. »

**Le terrorisme et les mesures visant à le contrer influencent le fonctionnement du SCK•CEN. Comment voyez-vous cela ?**

Malheureusement, le monde a changé, nous devons apprendre à vivre avec cette nouvelle situation. Les mesures de sécurité prises sont nécessaires, mais nous nous efforçons de garder une attitude d'ouverture qui va de pair avec notre mission sociale. Les 'frontières' ne sont pas là pour nous protéger, mais bien pour protéger les citoyens et nos collaborateurs.

**Comment faites-vous pour garder une forte implication de votre personnel ?**

Nous investissons toujours plus dans le domaine des ressources humaines. Nous avons par exemple proposé des formations en *people management*, ainsi qu'un trajet de transfert des connaissances pour permettre à 135 de nos cadres expérimentés de former nos plus jeunes collaborateurs. Cela crée une perspective pour les jeunes qui sont également encadrés par notre Académie. Nous suscitons l'enthousiasme des jeunes pour la Science, nous inscrivons de nombreux projets à des concours - notre projet 'Inspiration' en est un bel exemple (*lire page 62*) - et nous participons à des événements pour les étudiants comme le Marathon de la créativité à Technopolis. La science est attrayante et intrinsèquement liée à de nombreux aspects de notre société. Grâce à tous ces efforts, nous voulons attirer les jeunes à venir travailler au SCK•CEN.

**Il sera alors nécessaire de communiquer de manière intensive ...**

En effet, le SCK•CEN ne doit pas rester caché dans le calme de la Campine. Nous sommes sans doute davantage connus à l'étranger qu'en Belgique. Voilà pourquoi nous voulons continuer d'intervenir dans les médias en tant qu'experts scientifiques indépendants et à motiver les jeunes à mener des études scientifiques, en particulier celles liées aux activités du SCK•CEN. Voyez MYRRHA, un projet exceptionnel et révolutionnaire qui va surprendre le monde entier.



# Une sécurisation du site renforcée plus rapidement

## Les événements internationaux augmentent le niveau des contrôles

La sécurité du SCK•CEN a été considérablement renforcée en 2016. Présence de militaires armés sur le site, durcissement des contrôles à l'entrée principale et aux entrées des zones sécurisées, fermeture d'une voie d'accès à la circulation. Mais ce ne sont pas là les seules mesures prises.

La séparation du site en une zone pour le SCK•CEN et une zone pour VITO était déjà au programme. « Face au besoin croissant de sécurité, nous avons accéléré cette scission », expliquent Benny Carlé et Jan Veraghtert, qui coordonnent les opérations. « Ce renforcement des mesures de sécurité s'inscrit dans une évolution internationale. Et il y a naturellement les directives internationales pour les sites nucléaires qui sont également reprises dans la législation belge. Les mesures de sécurité physiques sont visibles, mais nous travaillons également intensivement à une meilleure cyber-sécurité. »

La sécurité d'accès a été renforcée à divers endroits. « Nous avons modifié la circulation autour de la Boeretang afin de créer à nouveau une voie privée pour la zone industrielle de la Boeretang. Nous avons fait construire une nouvelle clôture pour protéger le site et avons considérablement rénové et étendu les

infrastructures de sécurité des périmètres internes et des zones sécurisées. »

Pour que tout se déroule parfaitement, une campagne d'information auprès du personnel a également été menée. « Nous avons organisé une série de séances de sensibilisation à la sécurité pour nos employés, afin de les familiariser avec les nouvelles initiatives de sécurité. Un 'information security officer' a été désigné et nous planifions déjà une seconde campagne d'information sur la protection des informations confidentielles. »

### Des agents de sécurité polyvalents

Le Security Office a lui aussi subi une profonde transformation. « Nos agents de sécurité doivent endosser des tâches opérationnelles supplémentaires, notamment davantage de contrôles d'accès avec détection de métaux, scanners RX et détection d'explosifs. Nous avons élargi cette équipe voici deux ans avec des agents de sécurité féminins pour permettre la fouille de personnes suspectes féminines. Des agents de sécurité très compétents qui se sont totalement intégrés au nouveau système. »



Jan Veraghtert et Benny Carlé, responsables des travaux de sécurisation

Outre les agents de sécurité, des militaires sont présents en permanence sur le site du SCK•CEN. « Ils forment une véritable mini-caserne avec leurs propres logements et leurs propres véhicules sur place. Les militaires s'entraînent sur notre site. »

Aucun incident n'a été repertorié en 2016 : « Seul un colis suspect – une fausse alerte - a été signalé, rien d'autre. De temps en temps, il y a bien un automobiliste mécontent de ne plus pouvoir emprunter la Boeretang. Ces incidents et les actions générales prises dans le cadre de la politique de sécurité sont rapportés lors des Sommets de sécurité nucléaire. »

### Mises à jour prévues

La politique de sécurité, tant pour la protection physique que pour les aspects informatiques, est suivie par un nouveau Comité 'Security risk'. Ce comité d'experts est chargé d'analyser la menace, d'identifier les risques éventuels et de proposer des améliorations structurelles.

« Pour 2017, plusieurs mises à jour de la sécurité sont prévues au niveau des zones sécurisées du site. Nous prévoyons notamment la construction d'une nouvelle entrée principale côté sud. »



## Sécurité

### Une approche axée sur la sécurité

La direction du SCK•CEN est tout à fait consciente de l'importance accordée à l'exploitation sûre, sécurisée et respectueuse de l'environnement de ses installations. Compte tenu des besoins grandissants autour de la sécurisation, des efforts supplémentaires ont été fournis l'année dernière dans le cadre de l'approche intégrée de la gestion des risques.

### Fernand Vermeersch

Responsable du Service Interne pour la Prévention et la Protection au Travail (SIPPT)



# Le réacteur BR2 a l'avenir devant lui

Les mondes scientifique et médical respirent. Après une profonde opération de rénovation de 16 mois, le Belgian Reactor 2 (BR2) a redémarré avec succès en juillet 2016. Le réacteur de recherche est fin prêt pour une nouvelle décennie au moins, avec d'ambitieuses perspectives en ligne de mire.

**Steven Van Dyck :** Ce n'était pas qu'un entretien. De nombreuses parties internes ont été refaites, tous les tuyaux et les câbles souterrains ont été remplacés, les conduits de ventilation ont été renforcés et la matrice de béryllium à l'intérieur est également flambant neuve. Nous avons effectué toutes les opérations prévues et le BR2 a été redémarré exactement le jour prévu, le 19 juillet 2016.

**Sven Van den Berghe :** Ce timing est unique dans le monde nucléaire où l'on doit malheureusement souvent tenir compte de retards importants. La précision reste la marque de fabrique du BR2 : délivrer de la qualité de manière sûre et dans les plus brefs délais. Savez-vous que lorsque le BR2 a été construit, il a été achevé en quatre ans avec un retard de six mois seulement ? En tant que scientifiques et technologues, nous sommes généralement prudents dans nos communications. Mais cette rénovation a été un réel succès.

## Combien de temps le BR2 peut-il fonctionner maintenant ?

**Steven Van Dyck :** Nous avons introduit un dossier pour la révision de sûreté décennale. Cela doit donner une perspective de dix ans pour le BR2. Mais nous voyons plus loin car, dans une prochaine étape, nous voulons préparer la période de 2026 à 2036.



Interview avec  
**Sven Van den Berghe**, Reactor Stakeholder Manager BR2 et  
**Steven Van Dyck**, Reactor Manager BR2

« Grâce à la production belge, plus de sept millions de patients dans le monde bénéficient chaque année d'un examen médical. »

## Le BR2 date de 1962. Votre vision de l'avenir est-elle réaliste ?

**Steven Van Dyck :** Nous avons remplacé des pièces qui avaient déjà 50 ans. Elles sont maintenant entièrement neuves et peuvent durer 10 ans et bien plus encore. La cuve du réacteur même a été inspectée avec une grande minutie. Résultat ? Aucune indication d'usure. Si nous regardons les données du matériel et comptons sur l'avenir, nous savons déjà que la cuve du réacteur peut atteindre sans problème l'année 2036. D'autres études sont naturellement nécessaires pour confirmer cela, mais nous avons le temps. »

## À quelles fins le SCK·CEN souhaite-t-il utiliser le BR2 ?

**Steven Van Dyck :** Il n'existe actuellement que peu d'endroits au monde où les isotopes sont produits. Cela souligne le rôle essentiel du BR2. Nous devons garantir une production suffisante. Les médecins du monde entier comptent sur nous. Le BR2 produit régulièrement environ un quart des besoins annuels de l'isotope médical le plus important, le molybdène-99. Lorsque le réacteur est en service, il peut couvrir deux tiers de la demande mondiale hebdomadaire. Grâce à la production belge, plus de sept millions de patients dans le monde bénéficient chaque année d'un examen médical.

**Sven Van den Berghe :** Notre réacteur est opérationnel 40 à 50 % du temps, mais le reste du temps est tout aussi important pour le garder en pleine forme ; nous sommes très stricts à ce sujet. Avec la nouvelle matrice et les nouveaux éléments du réacteur, nous sommes techniquement en mesure d'atteindre un niveau de fonctionnement plus élevé. La production d'isotopes est une activité continue et répétitive qui permet à notre réacteur d'apporter une contribution importante à la société. En plus de la production principale de molybdène-99 pour le diagnostic et le traitement du cancer, nous réalisons des irradiations d'isotopes pour le développement de produits - nouvelles thérapies ou des combinaisons de thérapies - ou pour d'autres applications de produits existants. Un tel processus de qualification du développement à la production de routine peut prendre des années. Le marché des isotopes est très dynamique. L'offre et la demande fluctuent et de nouvelles applications émergent sans cesse.

**Steven Van Dyck :** Au cours des trois cycles prévus en 2016, nous avons réalisé six tests pour produire des isotopes que nous n'avions pas livrés auparavant ou pour valider des productions d'isotopes connues pour de nouvelles applications et de nouveaux clients.

**La production d'isotopes par irradiation n'est pourtant pas le seul objectif ...**

**Sven Van den Berghe :** Le réacteur est et reste disponible pour différentes applications. Le cahier des charges lors de la conception du BR2 l'indiquait déjà : 'a reactor with the greatest overall usefulness'. C'est exactement ce que nous avons à disposition. Le BR2 est une machine d'irradiation souple et polyvalente qui peut accomplir de nombreuses tâches différentes simultanément.

**Steven Van Dyck :** Outre la production d'isotopes, le BR2 agit comme un réacteur de test de matériaux. On ne construit actuellement presque plus de réacteurs de recherche dans le monde, mais le besoin de recherche est bien présent. Cela n'est possible que dans un réacteur de recherche performant. D'où le succès du BR2.

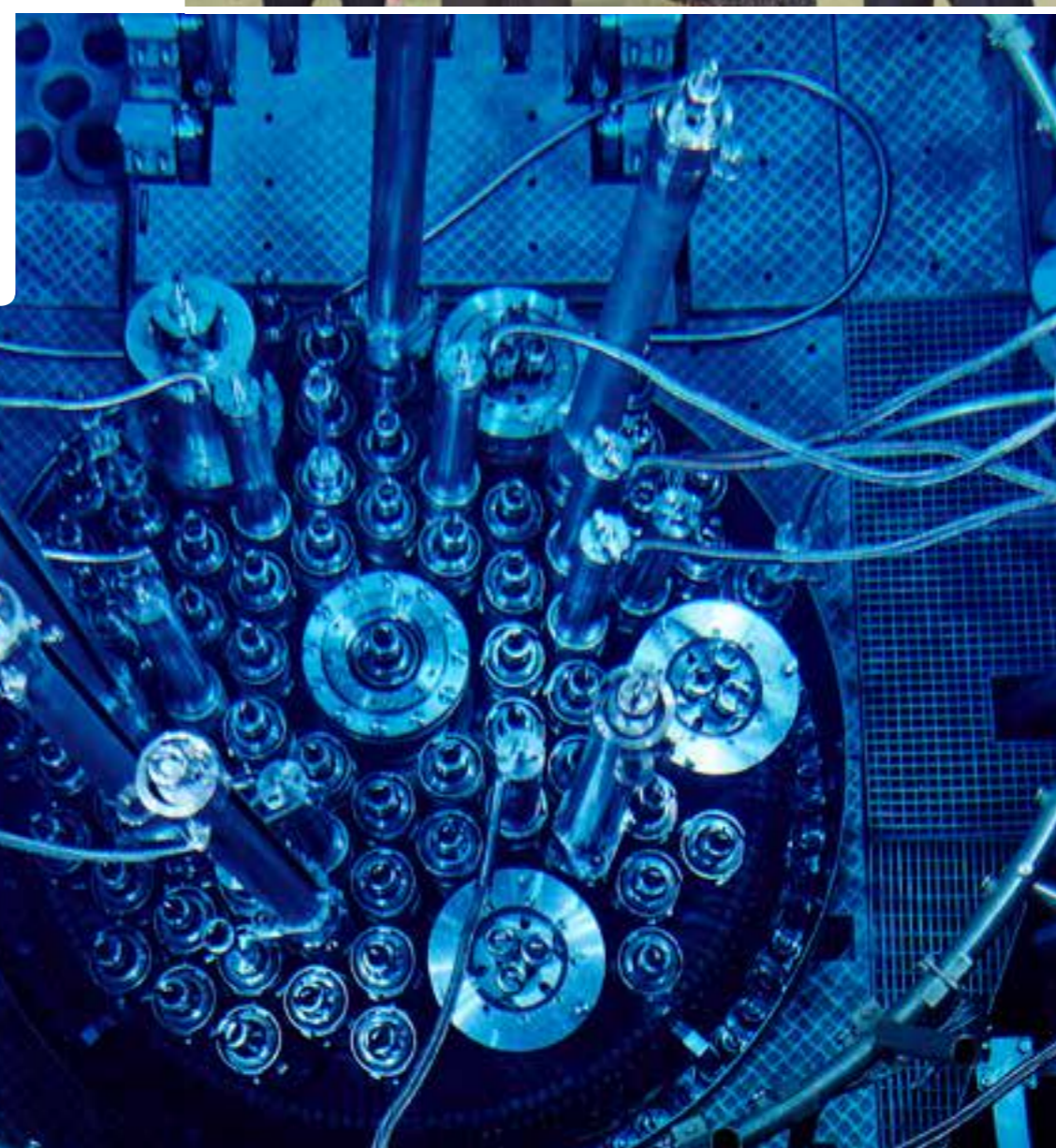
**Le SCK•CEN veut offrir aux scientifiques et aux entreprises la possibilité d'utiliser le BR2 de manière structurée. L'on utilise pour ce faire le nouveau concept BREASY (BR2 Reactor Experimental Access and Scientific Yield). Qu'est-ce que cela recouvre exactement ?**

**Sven Van den Berghe :** Avec BREASY, nous mettons la capacité du BR2 à la disposition des scientifiques du monde entier pour réaliser des expériences. Concrètement, nous invitons des institutions et même des pays, à s'engager à occuper une partie de la capacité du BR2. Ils 'prennent' une partie de nos neutrons et achètent véritablement une partie du réacteur de recherche. Nous voulons également continuer à travailler avec le monde universitaire. Nous appelons cela notre 'user facility'. Précédemment, nous travaillions avec des doctorants qui faisaient de la recherche ou réalisaient des projets de recherche avec des partenaires externes.

« Avec BREASY, nous mettons la capacité du BR2 à la disposition des scientifiques du monde entier pour réaliser des expériences. »

**Quelle est la différence ?**

**Sven Van den Berghe :** Nous nous dirigeons maintenant vers un partenariat plus structuré : une communauté d'utilisateurs qui s'engagent dans une relation continue avec nous. Ils peuvent toujours accéder à nos infrastructures, de manière à pouvoir faire évoluer leurs recherches. Pour nous, en tant qu'exploitant, cela assure une continuité au niveau de l'utilisation. Auparavant, plusieurs universités européennes disposaient d'un réacteur de recherche sur leur campus, mais ce n'est plus le cas. Les départements de génie nucléaire existent toutefois encore. Voilà pourquoi nous voulons faire un appel pour la recherche sur le rayonnement. Nous nous sommes inspirés à cette fin de la méthode de travail de la *Nuclear Scientific User Facility* aux États-Unis.



**SÉANCE ACADÉMIQUE EN PRÉSENCE DE SAR LA PRINCESSE ASTRID**

Le 28 octobre 2016, le SCK•CEN organisait une séance académique en présence de Son Altesse Royale la Princesse Astrid pour célébrer le redémarrage réussi de son réacteur de recherche BR2 après 16 mois de 'refurbishment'.

« Grâce à ce refurbishment, le BR2 peut assurer son rôle essentiel sur le plan technologique pour garantir la sûreté nucléaire des centrales de puissance et répondre à la demande mondiale croissante en radio-isotopes médicaux », affirme Eric van Walle, directeur général. « Le BR2 est à même de produire de nouveaux types de radio-isotopes et ainsi faire avancer la médecine nucléaire pour lutter contre le cancer. A son lancement en 1961, le BR2 était une première mondiale ; avec cette rénovation, il conserve son rang d'infrastructure de recherche de pointe à l'international. »



Coup  
d'accélérateur  
pour MYRRHA

02

# MYRRHA passe au développement en phases



150 ingénieurs, scientifiques, techniciens et assistants administratifs de 27 pays différents travaillent sur l'installation de recherche polyvalente MYRRHA. Où en sommes-nous avec le financement et le développement de ce successeur du BR2 ? Le directeur du projet Hamid Aït Abderrahim, fait le point.

**En 2009, les investissements dans MYRRHA étaient estimés à 960 millions d'euros. Où en est le compteur aujourd'hui ?**

**Hamid Aït Abderrahim :** En raison de la légère, mais continue, inflation de l'euro, 112 millions d'euros se sont entretemps ajoutés. En 2011, l'accident de Fukushima a indirectement pesé dans la balance. Car même si notre projet n'existait alors que sur papier, de nouvelles exigences de sécurité nous ont été imposées par l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN). Cela a entraîné presque 150 millions d'euros d'investissements supplémentaires. Enfin, le projet lui-même a évolué, avec à la clé un supplément de 250 millions d'euros. Nous avons donc atteint de la sorte un total de 1,6 milliard d'euros. C'était fin 2014 et nous nous en tenons aujourd'hui encore à ce montant.

**Est-ce qu'il est toujours intéressant de réaliser MYRRHA ?**

Nous nous sommes posés la question en 2015, en compagnie d'un comité d'experts externes. Et la réponse fut unanimement positive : le portefeuille des recherches est et reste valable et nécessaire.

**Qu'en est-il du planning ?**

Le Conseil d'administration nous a demandé d'examiner la stratégie d'implémentation du projet MYRRHA. Nous avons opté pour une stratégie en phases afin de réduire les risques et de répartir les investissements.

**Qu'implique cette stratégie exactement ?**

Nous partons sur une base de trois phases, dont la phase 1 est aujourd'hui la plus concrète. Dans cette première phase, notre but est de construire l'accélérateur 100 MeV (méga-électron-volts), ainsi qu'une ou deux stations de recherche : une pour produire les radio-isotopes et une pour faire de la recherche sur les matériaux. Cette phase 1 permettra de démontrer la fiabilité de notre accélérateur. En règle générale, un tel grand accélérateur s'arrête régulièrement, à raison de 2000 fois par an. Dans MYRRHA, nous voulons réduire le nombre d'arrêts de plus de trois secondes à seulement dix par trimestre. L'accélérateur doit donc être extrêmement fiable. Cela sera possible grâce à une conception tolérante aux pannes où les cavités pourront se suppléer mutuellement et grâce à une redondance des injecteurs.

**Combien de temps va durer le développement de l'accélérateur ?**

Nous construirons l'accélérateur de 100 MeV grande nature entre 2019 et 2022. Ensuite, nous prendrons deux ans pour tester la fiabilité en conditions réelles, jusqu'en 2024. Selon nos simulations, nous allons atteindre la fiabilité souhaitée. À nous maintenant de le démontrer. Dans le même temps se déroulera le développement de stations pour la production de radio-isotopes et la recherche sur les matériaux. De cette manière, les stations de recherche pourront dès le départ prouver leur valeur.

« Pour la construction du projet dans son ensemble, presque 1000 personnes seront concernées sur une période de trois ans, et, pendant l'exploitation, entre 300 et 400 personnes travailleront en permanence pour MYRRHA. Et chacun de ces emplois va générer trois autres emplois indirects. »

### Que va-t-il se passer dans les deux phases suivantes ?

La phase 2 sert au développement ultérieur de l'accélérateur jusqu'à 600 MeV. La phase 3 est la construction du réacteur, donc la construction complète et la finalisation de MYRRHA. Pour les phases 2 et 3, nous prévoyons 1,25 milliard d'euros. En étalant la construction de MYRRHA sur une période de 11 ans, nous pouvons répartir l'investissement et nous avons plus de temps pour réunir tous les fonds.

### D'où viendra le financement ?

De différentes sources. Le gouvernement belge nous a déjà accordé 40 millions d'euros pour la période 2016-2017 pour développer le projet avec la nouvelle stratégie en phases. Pour la fin 2017, nous devons livrer onze grands rapports au gouvernement pour lui permettre de se prononcer sur les travaux de construction de la phase 1. Mais ce n'est pas tout. Début janvier 2015, le gouvernement a décidé de reprendre MYRRHA à hauteur de 1,5 milliard d'euros dans la liste des projets belges pour le nouveau plan d'investissement de la Commission européenne, le plan Juncker ou EFSI. Dans le cadre du nouveau programme Horizon 2020 d'EURATOM, plus de 11 millions d'euros seront investis dans MYRRHA, dont 9 millions par la Commission européenne via le projet H2020 MYRTE. MYRRHA a en outre été sélectionné par la Banque européenne d'investissement comme projet potentiel pour le financement via le programme InnovFin. Cela pourrait donner un prêt de 120 à 240 millions d'euros sur une période d'amortissement de 10 ans et une longue période de remboursement avec de faibles taux d'intérêt. De nombreuses négociations sont en cours.



### Quelle est la durée du remboursement de l'investissement dans MYRRHA ?

Nous commençons une période de construction de 11 ans, de 2019 à 2030. Ensuite, MYRRHA sera utilisé pendant 35 ans, jusqu'en 2065. Le remboursement doit être effectué en 26 ans. Cela ne tient toutefois pas compte de l'impact sur l'emploi. Pour la construction, presque 1000 personnes seront concernées sur une période de trois ans, et, pendant l'exploitation, entre 300 et 400 personnes travailleront en permanence pour MYRRHA. Et chacun de ces emplois va générer trois autres emplois indirects.

### Quels revenus va générer MYRRHA ?

Le monde attend de nouvelles techniques pour la gestion des déchets radioactifs. Si nous pouvons développer et breveter ces techniques, cela ouvre des perspectives. MYRRHA est également important pour la construction des futurs réacteurs 4<sup>e</sup> G refroidis au plomb et les SMR (petits réacteurs modulaires). Nous pouvons valoriser nos connaissances dans le développement d'un nouveau type de réacteur qui peut utiliser le même cœur pendant 10 ans sans recharge, avec moins de déchets et une plus grande sûreté.

### Où en est actuellement la collaboration avec les autres pays ?

Des discussions sont actuellement en cours concernant une participation à MYRRHA. Nous préparons un accord de collaboration avec le CNRS (Centre national de la recherche scientifique) en France. La Suède est prête à participer, le Japon va se prononcer sur une éventuelle participation et le gouvernement allemand se penche à nouveau sur un accord de collaboration. Plus d'informations à ce sujet dans le courant de 2017 !

## Archimède donne un coup de pouce à MYRRHA

### Tests sur le comportement des composants

Dans le circuit plomb-bismuth COMPLIT, nos scientifiques analysent le comportement thermo-hydraulique et hydro-dynamique des composants du réacteur MYRRHA en taille réelle. Ils se sont penchés sur les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires et ont également construit et testé un prototype de barre de contrôle.

Les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires affectent le débit du liquide de refroidissement dans le cœur du réacteur. Il est important de savoir si le débit de refroidissement est toujours suffisant, surtout en cas d'arrêt inopiné du réacteur. Il faut pouvoir éliminer la chaleur des combustibles nucléaires de manière passive, c'est-à-dire sans intervention des pompes.

Les chercheurs Katrien Van Tichelen et Graham Kennedy ont analysé ces pertes de charge dans le circuit plomb-bismuth COMPLIT : « Nous avons montré que les données que nous utilisons pour la conception du réacteur pour les pertes de charge dans les assemblages de combustibles nucléaires sont suffisamment précises. »

D'autres facteurs environnementaux ont également une influence : « La température modifie les propriétés du caloporteur et du matériau de l'assemblage. Les gaines des assemblages peuvent par exemple être plus rugueuses, ce qui pourrait entraîner une perte de charge supplémentaire. »

Dans un avenir proche, ils veulent continuer à examiner le comportement des assemblages de combustibles nucléaires. « Quelle est l'amplitude des vibrations des aiguilles de combustibles nucléaires provoquées par le passage du caloporteur ? Nous vérifierons aussi si les pertes de charge varient au fil du temps si d'autres phénomènes se produisent éventuellement. »





### Merci Archimède

Une seconde étude de COMPLIT portait sur les barres de contrôle : « Elles forment un composant complexe de près de 10 mètres de long, avec la même taille, géométrie et le même poids dans l'expérience que dans MYRRHA. Nous essayons de démontrer qu'il est possible de les insérer en moins d'une seconde dans le cœur du réacteur. C'est important pour la sûreté parce que le réacteur doit pouvoir être arrêté rapidement. C'est un grand défi pour positionner de manière précise la structure fine de sorte que rien ne soit coincé ou déformé pendant le mouvement. »

Le mouvement des barres de contrôle s'effectue dans du plomb-bismuth (deux métaux lourds) à l'état liquide. Des circonstances qui diffèrent de celles d'un réacteur classique. « Dans un réacteur classique, les barres de contrôle descendent sous l'effet de la gravité. Ici, le liquide est tellement lourd que les matériaux de référence y flottent. »

La solution ? « Nous mettons les barres de contrôle sous le cœur du réacteur. Si nous les libérons, elles bougent vers le haut. Ces essais de démonstration de principe sont uniques en leur genre. Pour la première fois, la poussée d'Archimède est utilisée pour insérer les barres de contrôle. Avec succès. »

Après ces essais, la recherche de Katrien et Graham doit évaluer le comportement des barres de contrôle dans le cas d'une insertion répétée. Elles doivent suivre au moins un cycle de réacteur de trois mois : « Nous partons du principe que ce sera plus long, parce que nous avons estimé la durabilité de manière très prudente. »

À l'avenir, des tests d'autres composantes sont prévus. « La plus grande partie de notre temps sera consacrée à l'ajustement de COMPLIT pour le test du comportement thermo-hydraulique des tubes de l'échangeur de chaleur de MYRRHA. Nous voulons donner à nos concepteurs des informations fondées afin qu'ils puissent les utiliser dans la prochaine révision de projet. »



« Pour la première fois, la poussée d'Archimède est utilisée pour insérer les barres de contrôle. Avec succès ! »

## Innovation

Des installations expérimentales uniques sont indispensables

Le SCK•CEN utilise des modèles mathématiques avancés et complexes en vue de développer des systèmes nucléaires innovants. Ces modèles sont validés par des expériences très ciblées dans des dispositifs expérimentaux spécifiques. Cet éventail unique d'installations expérimentales renforce le caractère international du SCK•CEN qui demeure un pôle d'attraction sans pareil.

### Peter Baeten

Directeur de l'Institut Systèmes nucléaires avancés



# Une boucle de corrosion unique en son genre

## Une vision claire via les corrélations

Projetez-vous d'utiliser du métal lourd liquide comme réfrigérant dans un réacteur nucléaire ? N'oubliez pas que, pour certains matériaux, des formes de corrosion peuvent se manifester. Cela n'est pas bon pour la température et la durée de vie des composants. Il est donc nécessaire d'examiner attentivement les conséquences de la corrosion pour la conception d'une installation comme MYRRHA. Mais comment prouver que les matériaux survivent alors que MYRRHA n'existe pas encore ?

MYRRHA est une installation de recherche qui contiendra des technologies pour les réacteurs nucléaires de la quatrième génération. L'un des grands défis dans le développement de MYRRHA reste la question des matériaux. Ils doivent se conserver dans des conditions extrêmes : une température élevée, un rayonnement important et un environnement corrosif.

### Hautes températures

Dans les futurs réacteurs règnent d'autres conditions que dans les réacteurs traditionnels. La température dans MYRRHA peut par exemple atteindre jusqu'à 400°C et, dans les réacteurs nucléaires de la quatrième génération avec du plomb liquide comme réfrigérant, elle peut même atteindre 600°C. Quelle est donc la résistance à la corrosion des matériaux sélectionnés lorsqu'ils entrent en contact avec le caloporteur métallique plomb-bismuth liquide ?

Cela est étudié dans le programme de matériaux pour MYRRHA. L'objectif est de sélectionner et vérifier les matériaux candidats pour les composants structurels et fonctionnels du circuit primaire de MYRRHA.

Les tests pour cette recherche ont lieu dans un environnement qui simule les véritables conditions de corrosion. Une reproduction fidèle et à échelle des conditions attendues dans MYRRHA demanderait en effet des installations de pointe très chères qui devraient encore fonctionner en parallèle pendant de nombreuses années.

### Boucle de corrosion unique

Voilà pourquoi les chercheurs du SCK·CEN ont mis au point une méthode qui donne une vision claire de la corrosion grâce au principe de corrélation : le lien mutuel éventuel entre deux séries

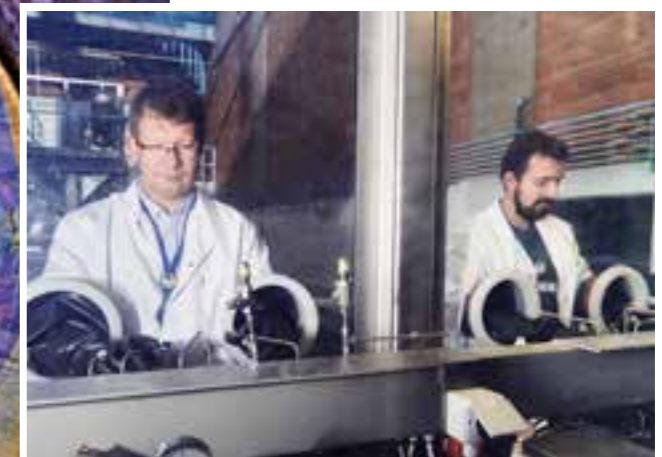
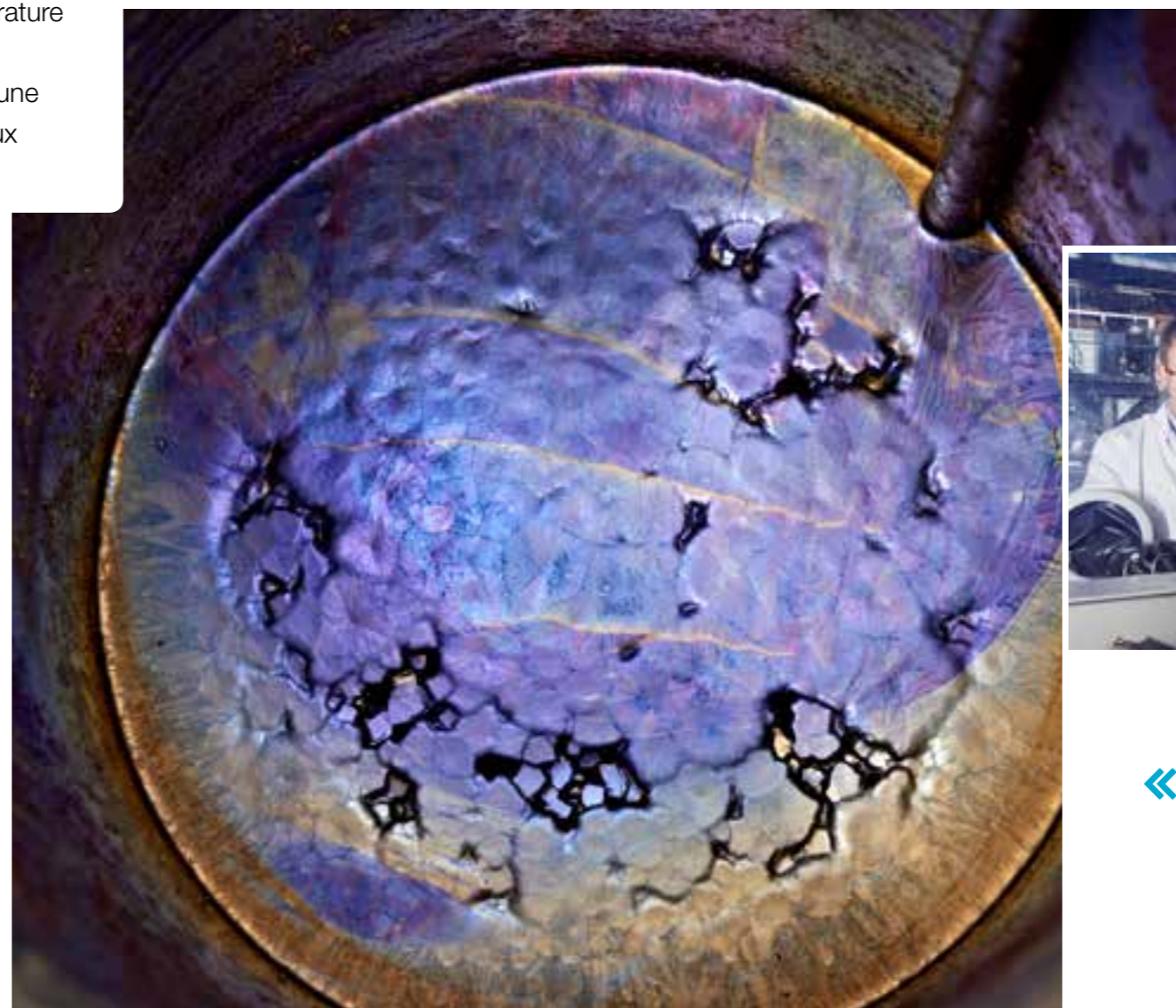
d'observations. Les chercheurs ont non seulement utilisé quelques petites installations de test, mais ont également construit une grande boucle de corrosion unique en son genre. Elle est nécessaire pour prouver que les corrélations pour le développement de la corrosion, calculées pour les petites structures, sont suffisamment conservatrices.

En analysant et comparant les résultats des tests, les chercheurs ont découvert des solutions aux effets de la corrosion. Les calculs représentent un outil précieux pour les concepteurs de MYRRHA afin de définir les restrictions, d'estimer les paramètres d'exploitation et de valider la corrosion autorisée dans les composants (comme les assemblages de combustibles, les tubes de l'échangeur de chaleur, la cuve du réacteur, etc.).

### Les mécanismes de corrosion à la loupe

À l'heure actuelle, les chercheurs contrôlent si les corrélations peuvent prédire avec précision les dégâts de la corrosion en comparant chaque résultat obtenu de manière expérimentale avec les prévisions. Jusqu'à présent, la capacité de prédiction des corrélations développées est très bonne.

Ils étudient également les mécanismes de corrosion, tant avec les approches modernes pour décrire la micro-structure et la micro-chimie qu'avec différentes techniques de microscopie électronique. Cette compréhension des mécanismes est nécessaire pour étayer les corrélations. Enfin, les chercheurs veulent aussi améliorer et adapter les corrélations développées spécifiquement pour les joints dans les matériaux.



« Les chercheurs ont non seulement utilisé quelques petites installations de test mais ont également construit une grande boucle de corrosion unique en son genre. »



# Matériaux de structure pour les réacteurs de 4<sup>e</sup> génération

Collaboration prometteuse entre le SCK·CEN et la KU Leuven

Le futur réacteur MYRRHA comprendra un 'rotor de pompe'. Il s'agit d'un composant rotatif d'une pompe qui doit pouvoir déplacer le réfrigérant *Lead Bismuth Eutectic* (LBE). Avec des matériaux de structure traditionnels tels que l'acier inoxydable, il y a un risque au niveau de la dissolution et l'érosion. Pour éviter que le rotor de pompe ne soit le point faible du réacteur, le SCK·CEN et la KU Leuven ont travaillé main dans la main. Résultat : des matériaux de structure innovants basés sur les phases MAX.

Quels matériaux conservent leur forme et leurs propriétés lorsqu'ils entrent en contact avec des métaux lourds à l'état liquide (MLL) à débit rapide comme le LBE et le plomb ? Thomas Lapauw, doctorant à la KU Leuven, étudie le potentiel des phases MAX : « Cette classe de carbures et de nitrures ternaires présente une combinaison unique de propriétés : certains ont les caractéristiques de la céramique et d'autres celles des métaux. »

## Résistance supérieure

Les phases MAX sont résistantes. Elles sont davantage résistantes à la corrosion par les métaux liquides et se démarquent par une tolérance aux dommages élevée. Ainsi, les phases MAX démontrent un grand potentiel d'utilisation dans les systèmes nucléaires à caloporteur métaux lourds liquides. Konstantza Lambrinou du SCK·CEN dirige la recherche et se montre

très enthousiaste en ce qui concerne les phases MAX : « Vous pouvez fabriquer des composants avec une géométrie complexe. Même si la durabilité des phases MAX hautes performances ne suffit pas en cas d'exposition à des MLL à débit rapide, il est possible de former des phases durables comme des carbures et des nitrures binaires à la surface du rotor. »

Les phases MAX sont également pertinentes pour les rotors de pompe des réacteurs rapides refroidis au plomb de la quatrième génération (LFR Gen-IV). Le rotor dans MYRRHA doit être fiable à 270°C, mais dans les LFR, la température monte jusqu'à 480°C. Cela nécessite naturellement un examen approfondi. Thomas Lapauw explique son approche : « Je prépare d'abord les monolithes basés sur la phase MAX et leurs composites, par exemple les cermets (matériau composé



Les phases MAX forment un matériau avec lequel il est possible de réaliser des formes complexes. Le fraisage conventionnel peut également être réalisé.

de particules de céramique dans une matrice métallique), par métallurgie des poudres. J'effectue ensuite une caractérisation micro-structurale des matériaux produits et j'évalue leur résistance et leur ténacité à la rupture. Enfin, j'évalue la résistance à la corrosion et à l'érosion dans les métaux liquides. »

## Découverte de nouvelles phases MAX

Quelle est le point-phare de ce projet ? Konstantza Lambrinou ne laisse planer aucun doute à ce propos : « La synthèse métallurgique des poudres des matériaux de phase MAX est difficile à réaliser. Thomas a découvert de nouvelles phases MAX prometteuses, idéales pour les applications dans les systèmes refroidis par MLL et les applications à haute température. Logiquement, le SCK·CEN et la KU Leuven ont introduit conjointement une demande de brevet. »

Est-il possible de produire des cermets sur la base des phases MAX ? C'est une question à laquelle nous aurons une réponse dans un avenir proche. Ces composites peuvent conserver les avantages de ces carbures ternaires et améliorer la résistance à la rupture. Thomas Lapauw a d'ores et déjà préparé une première génération de ces matériaux afin d'évaluer leurs propriétés mécaniques.



La technologie  
au service de  
l'innovation

03

# Fusion : primeur pour le BR2

## Campagne d'irradiation à flux de neutron élevé à 1200°C

Deux décennies, cela semble encore loin. Mais l'on construit déjà actuellement à Cadarache, dans le Sud de la France, le réacteur expérimental de fusion ITER. C'est la dernière étape avant la construction du prototype de fusion industriel DEMO, qui devrait être prêt aux alentours de 2044. En tant que centre de recherche, le SCK•CEN apporte également sa pierre à l'édifice : son BR2 procèdera à une campagne d'irradiation à flux élevé à 1200°C dans le programme européen EUROfusion. Des conditions extrêmes qui n'ont jamais été atteintes auparavant dans l'histoire du SCK•CEN.

Le réacteur ITER qui sera opérationnel à Cadarache en France dans quelques décennies est la première étape pour démontrer les avantages tant techniques que commerciaux de la fusion nucléaire. Les équipes de recherche développent et qualifient maintenant les matériaux qui seront utilisés dans le réacteur de fusion, notamment pour la 'première paroi' qui est directement exposée au plasma.

Le choix des matériaux de base pour ITER est maintenant terminé. Le tungstène servira de blindage pour le diverteur - un composant qui maintient

une charge thermique maximale afin d'atteindre la décharge de plasma la plus stable. La dose de fin de vie reçue par le matériau du diverteur dans ITER ne dépassera pas 1 dpa (déplacement par atome).

La recherche de nouveaux matériaux doit à présent progresser pour permettre le fonctionnement des installations de fusion à orientation commerciale, spécifiquement pour DEMO, le prototype de fusion industriel qui succèdera à ITER. La dose accumulée devra être supérieure d'un facteur d'au moins 10 ou 20. Cette recherche sur la fusion nucléaire se fait dans le cadre du projet EUROfusion, une joint-venture H2020 entre Euratom et des pays de l'Union européenne, la Suisse et l'Ukraine qui forment un consortium.

« La première campagne d'irradiation au-dessus de 1000°C dans le BR2 est un véritable défi et offrira de nouvelles perspectives pour le développement de matériaux à haute température tant pour la fusion nucléaire que pour les combustibles nucléaires. »

### Campagne d'irradiation

Les premières données ont été analysées au SCK•CEN et sélectionnées pour des conditions d'irradiation représentatives d'ITER. En 2017, les chercheurs lanceront une nouvelle campagne d'irradiation dans le réacteur de recherche BR2 pour sélectionner des matériaux innovants à base de tungstène. L'imitation des conditions de fusion est en effet possible dans le BR2 grâce à sa flexibilité, au flux élevé et à la grande expérience des experts. En augmentant le flux de neutrons et la température d'irradiation, les chercheurs créent des neutrons qui seront le 'proxy' d'un environnement de fusion. Les conditions de fin de vie requièrent cependant un grand temps d'irradiation, au moins cinq ans d'irradiation ininterrompue.





## DU GRAPHITE POUR GARDER LA TÊTE FROIDE

Le projet TUNER (TUngsten NEutron irRadiation) sera irradié dans le dispositif HTHF. Ce dispositif aux dimensions précises permet d'examiner l'effet de la combinaison de la haute température (800°C) et du flux élevé (1 dpa dans le tungstène) sur les matériaux et leurs propriétés.

### Les atouts du graphite

Le choix s'est porté sur le graphite parce qu'il possède une faible absorption neutronique et une bonne conductibilité thermique. En outre, le graphite chauffe moins en raison de sa faible densité. Les chercheurs évitent de cette manière que la température n'augmente trop. La conceptrice Gitte Borghmans a dû travailler de manière très détaillée : « 26 petites 'loquettes' de seulement 30 mm de hauteur sont accrochées comme de petits wagons les unes derrière les autres. »

### 6 cycles dans le BR2

L'installation HTHF est maintenant conçue et la construction a commencé début 2017 afin de pouvoir démarrer l'irradiation avant les vacances d'été 2017. Avec le 'flux élevé' demandé, le HTHF restera dans le réacteur BR2 pendant 6 cycles, soit environ un an. Le laboratoire LHMA se chargera de l'analyse des échantillons irradiés en 2018.

La campagne dans le BR2 est donc un véritable défi et montrera si le BR2 est en mesure d'offrir des conditions d'irradiation extrêmes pour les nouveaux matériaux. Après avoir démontré avec succès les performances HTHF, l'étape de recherche suivante consistera en un programme de sous-miniaturisation : plus les volumes sont petits, moins les conditions d'irradiation qui doivent être satisfaites sont strictes et onéreuses. De petits volumes d'échantillons signifient également une désactivation rapide, un transport peu coûteux et, en général, un retour PIE rapide. À l'avenir, la miniaturisation sera de plus en plus sollicitée, ce qui constitue le nouveau grand challenge du programme de recherche sur les matériaux pour la fusion.

## Technologie

La durabilité n'est pas qu'un terme à la mode

Le BR2, par son refurbishment et sa configuration unique, fait toujours partie des meilleurs réacteurs d'essai et il conservera ce statut pour les générations à venir.

Le BR2 est également un fournisseur de radio-isotopes médicaux incroyablement fiable et demeure responsable d'au moins deux tiers de la production mondiale. Le développement futur de nouveaux radio-isotopes médicaux très prometteurs pour le traitement du cancer démontre que la durabilité caractérise toujours notre recherche nucléaire et qu'il en sera ainsi à l'avenir.

### Leo Sannen

Directeur de l'Institut Science des Matériaux nucléaires



### Nouveau dispositif d'irradiation

La durée du projet est d'environ trois ans, pour un budget total de 2,5 millions d'euros, dont la moitié sera consacrée à l'irradiation et un tiers aux examens post-irradiatoires (*post irradiation experiments* ou PIE). Le projet comprend également le développement d'un nouveau dispositif d'irradiation, le dénommé « High Temperature High Flux » (HTHF) (voir encadré).

Dans cette installation HTHF, une irradiation de flux de neutrons élevé à 1200°C se produira sous contrôle actif de température et d'environnement, une première dans l'histoire des essais effectués au sein du SCK-CEN. Après l'irradiation, les chercheurs vont cartographier les propriétés thermiques, mécaniques et micromécaniques des matériaux irradiés au sein du laboratoire de haute et moyenne activité (LHMA).

« Le projet comprend également le développement d'un nouveau dispositif d'irradiation, le dénommé 'High Temperature High Flux' »

Les matériaux à irradier sont des alliages à base de tungstène destinés à la première paroi et au blindage. Les chercheurs utilisent la nano-ingénierie pour obtenir les meilleures performances dans des conditions de fusion. Grâce aux campagnes d'irradiation, ils vont pouvoir vérifier si les performances des matériaux de production restent bien au même niveau après l'exposition aux neutrons.

### Étape par étape

Le projet comporte différents tests post-irradiatoires et se déroule en collaboration avec les centres de recherche FZJ et KIT (Allemagne) et Demokritos (Grèce). Une répartition des tâches qui permet de conjuguer les forces de chaque centre. Un seul laboratoire ne possède pas tous les matériaux, l'expertise et la compétence. Sans compter la course contre la montre car le planning du projet DEMO reste très serré, bien que la réalisation ne soit prévue que pour 2044.

# Plongée au coeur des couches d'argile de Boom

## Recherche à 225 mètres sous terre

L'argile de Boom est-elle adaptée pour le stockage souterrain de déchets radioactifs ? Cette question fait l'objet de recherches intensives. Dans le cadre du projet PRACLAY, les scientifiques examinent notamment l'impact de la chaleur dégagée par les déchets radioactifs sur la composition de l'eau porale, qui peut à son tour influencer le comportement des radionucléides. Ces expériences se déroulent dans le laboratoire HADES, à quelque 225 mètres sous terre.

Les scientifiques du monde entier considèrent l'enfouissement en profondeur dans des couches géologiques stables comme étant la méthode la plus appropriée pour la gestion à long terme des déchets hautement radioactifs. En Belgique, le programme de recherche se concentre sur les couches d'argile profondes telles que l'argile de Boom. Les chercheurs analysent minutieusement le comportement de l'argile et l'impact des éventuelles perturbations. Une recherche de pointe lancée par le SCK·CEN il y a près de 40 ans.

La recherche sur l'impact de la chaleur sur la composition de l'eau porale est réalisée dans le laboratoire souterrain HADES, dans le cadre du projet PRACLAY Heater Experiment. Ce test permet aux chercheurs de vérifier le comportement de l'argile de Boom au niveau thermique, hydromécanique et chimique lorsqu'elle se réchauffe par contact avec des déchets hautement radioactifs.



Mieke De Craen et Miroslav Honty  
dans le laboratoire souterrain HADES



### Recherche sur la charge thermique

L'une des recherches a pour but d'étudier les modifications chimiques éventuelles provoquées par le réchauffement de l'argile sur une période de dix ans. Comment allons-nous procéder ? Les chercheurs Mieke De Craen et Miroslav Honty nous emmènent 225 mètres sous terre : « Nous prélevons à intervalles réguliers dans le laboratoire des échantillons d'eau porale et les gaz qui y sont dissous. Nous forons un trou dans la couche d'argile et nous y installons un piézomètre, une sorte de tuyau métallique avec, à différents endroits, un filtre qui récolte l'eau. Cette eau coule via des conduites fines dans la structure expérimentale du laboratoire souterrain. Dans des conditions normales, l'eau porale, à cette profondeur, a une température de 16°C, mais avec le réchauffement induit par le test PRACLAY, la température au niveau des filtres s'élève actuellement à 55°C. Cette température peut perturber l'équilibre chimique et c'est exactement ce que nous voulons étudier. L'installation expérimentale permet de mesurer un certain nombre de paramètres spécifiques et d'échantillonner séparément l'eau porale et les gaz qui y sont dissous. Les échantillons partent alors vers le laboratoire en surface pour des analyses ultérieures. »

« Les mesures de température et de pression d'eau porale dans l'argile confirment les calculs préalables réalisés par les chercheurs sur base d'expériences antérieures de chauffe à petite échelle. »



## TEST DE CHAUFFE PRACLAY

Le PRACLAY Heater experiment se déroule dans une galerie latérale longue de 45 mètres de HADES, le laboratoire de recherche unique géré par le GIE EURIDICE, un groupement d'intérêt économique entre le SCK-CEN et l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (ONDRAF).

Lancée en 2014, la phase de chauffe durera dix ans. En août 2015, l'essai a atteint la température souhaitée de 80°C au point de contact entre la paroi de la galerie en béton et l'argile.

Les mesures de température et de pression d'eau porale réalisées jusqu'à présent dans l'argile confirment les calculs préalables réalisés par les chercheurs sur base des résultats d'expériences antérieures de chauffe à petite échelle. Cette confirmation, à une échelle représentative d'un véritable stockage, est l'un des principaux objectifs de l'expérience. En outre, le test offre également la possibilité de tester les modifications géochimiques dans l'argile, la stabilité de la paroi en béton et de la fiabilité des instruments de mesure à température plus élevée.

### Comparaison des résultats avec les prévisions

La chauffe entraîne des réactions chimiques qui affectent l'eau porale. Les chercheurs veulent savoir dans quelle mesure cela se produit et si cela a un effet sur le comportement des radionucléides. Mieke De Craen et Miroslav Honty : « Nous disposons d'une grande base de données sur l'eau porale à une température naturelle de 16°C. Et nous avons également des modèles géochimiques pour prédire la composition de l'eau porale à des températures élevées. Mais jusqu'à présent, nous ne pouvons en vérifier la validité à l'aide de données expérimentales. »

C'est maintenant possible à grande échelle grâce au test de chauffage dans HADES. Les chercheurs déterminent la composition de l'eau porale et comparent les résultats avec leurs prédictions. « Grâce aux nouvelles données, nous serons en mesure d'étudier en détail la situation à des températures plus élevées. Entretemps se déroule également une étude en étroite collaboration avec le groupe Microbiologie afin de tester la présence et l'activité des micro-organismes dans l'eau porale de l'argile de Boom sous sollicitation thermique. »

# U<sub>3</sub>O<sub>7</sub> : la pièce manquante du puzzle

## Meilleure compréhension du processus d'oxydation

Le dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) est le combustible nucléaire le plus largement utilisé. Exposé à l'air ou à l'eau, l'UO<sub>2</sub> s'oxyde en U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> : le matériau se dilate alors d'au moins un tiers de son volume et pour les poudres très fines, ce processus peut aller très vite. La science étudie depuis plus de 70 ans déjà les structures complexes qui sont formées lors de l'oxydation de l'UO<sub>2</sub> en U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, mais une phase intermédiaire importante, à savoir l'U<sub>3</sub>O<sub>7</sub>, reste inconnue à ce jour. Dans sa thèse de doctorat, Gregory Leinders est parvenu à lever un coin du voile.

Les poudres d'uranium et les pastilles de combustible cylindriques s'oxydent toujours au contact de l'air. Cela peut avoir des conséquences négatives, tant lors de la production de combustible nucléaire que lors du stockage du combustible utilisé. Pendant la réaction d'oxydation, il se dégage une quantité de chaleur considérable qui entraîne un risque de combustion spontanée pour les poudres très fines. Avec tous les risques pour la sécurité que cela engendre, car dans un processus de production, l'incendie est à éviter.

Ce n'est pas tout. Dès que l'oxydation se produit de manière non contrôlée, il se forme un oxyde U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> plus stable. Cette forme d'oxyde n'est pas utilisable pour la production du combustible nucléaire. Lors de la transition cristallographique vers l'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, le volume augmente de

36 pour cent. Les conteneurs de stockage peuvent de cette manière se fissurer, non seulement dans le processus de production, mais aussi lors du traitement et du stockage du combustible utilisé.

### Données en contradiction

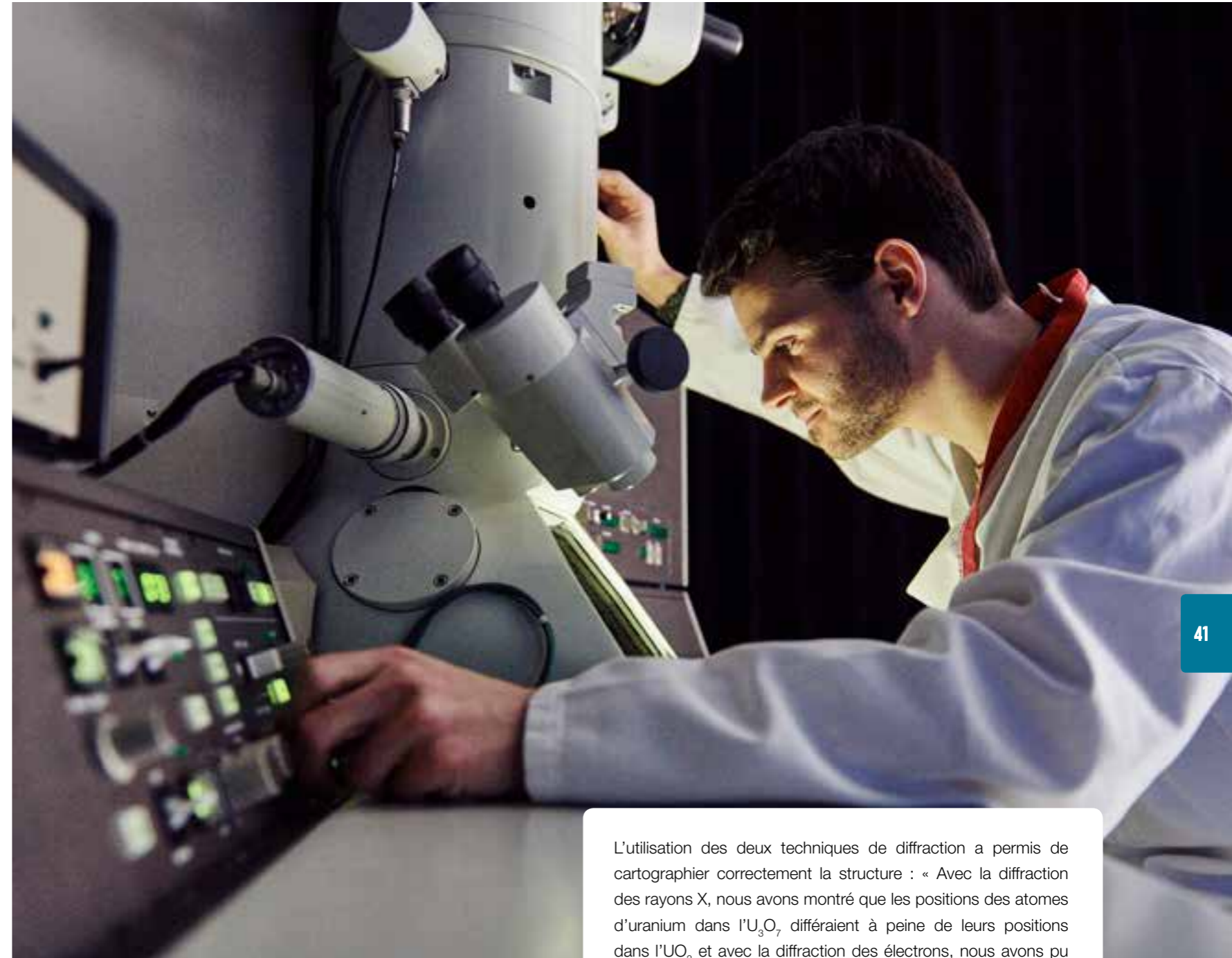
Gregory Leinders a examiné avec ses collègues du groupe *Matériaux de combustible* l'interaction de l'oxygène avec les poudres d'UO<sub>2</sub> : « J'ai vérifié de quelle manière et à quel rythme l'oxydation se produit. Les conditions étaient liées à celles

de la production de combustible nucléaire et du stockage de poudres et de pastilles de combustibles d'UO<sub>2</sub>. En pratique : une concentration maximale d'oxygène semblable à celle de l'air et des températures jusqu'à 250°C. »

L'oxyde d'uranium U<sub>3</sub>O<sub>7</sub> intermédiaire apparaît avant que l'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ne soit formé dans ces conditions. Gregory Leinders explique : « Bien que cet oxyde soit connu depuis 70 ans déjà, l'on manque d'informations sur sa structure cristalline complexe. Les données sont parfois contradictoires. Avec mes collègues, nous avons réussi à développer un modèle cohérent pour cette structure, sur la base de nouveaux résultats expérimentaux. »

### Planification périodique

Lorsque les poudres d'U<sub>3</sub>O<sub>7</sub>, polycristallines ont été créées dans les laboratoires du SCK·CEN, les chercheurs ont utilisé la diffraction des rayons X et la diffraction des électrons pour l'analyse structurale : « Nous faisons cela avec un faisceau

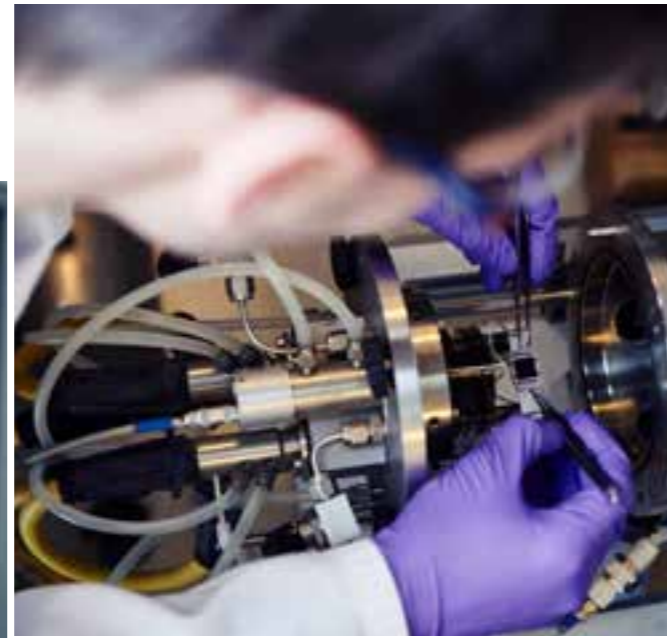


de rayons X et un faisceau d'électrons afin que se produise un processus de diffusion sensible à la position des atomes dans la structure. Il en résulte un schéma d'interférences que nous mesurons. Ces diffractogrammes nous donnent des informations sur la position et la distance entre les atomes et la symétrie de la structure cristalline. »

L'utilisation des deux techniques de diffraction a permis de cartographier correctement la structure : « Avec la diffraction des rayons X, nous avons montré que les positions des atomes d'uranium dans l'U<sub>3</sub>O<sub>7</sub> différaient à peine de leurs positions dans l'UO<sub>2</sub> et avec la diffraction des électrons, nous avons pu déterminer le groupement des atomes d'oxygène supplémentaires. En moyenne, la structure ressemble fortement à l'UO<sub>2</sub>, mais des anions supplémentaires sont groupés dans des agglomérats d'oxygène cuboctaédriques, ordonnés à plus grande échelle. La maille cristalline peut ensuite être décrite avec une cellule unitaire élargie qui contient 15 sous-cellules de type fluorine. »

Les scientifiques se cassaient la tête sur ce problème depuis plus de 70 ans. Les chercheurs du SCK·CEN ont enfin trouvé un modèle cohérent pour la structure cristalline complexe de l'U<sub>3</sub>O<sub>7</sub>.

« Nous avons enfin mis au point un modèle cohérent pour la structure cristalline complexe de l' $U_3O_7$ . »



#### Vers une interprétation quantitative

Avec la détermination de la structure cristalline  $U_3O_7$ , le SCK•CEN a découvert une pièce manquante essentielle du puzzle du mécanisme d'oxydation de l' $UO_2$ . Mais la recherche ne s'arrête pas là. « La cellule unitaire en elle-même nécessite une recherche plus approfondie. Dans une étude de suivi, nous tenons à démêler les informations structurales supplémentaires sur la base de techniques de qualité. Notamment avec la spectroscopie d'absorption de rayonnement X synchrotron (XAS) pour déterminer la valence des atomes d'uranium. Et avec la diffraction des électrons de précession pour un affinement de la structure cristalline – une technique plus avancée qui permet de déterminer et d'interpréter de manière quantitative les intensités dans un diffractogramme électronique. Tous ces résultats aideront à comprendre la formation du produit final important de l'oxydation :  $U_3O_8$ . »

## De nouvelles perspectives dans le traitement contre le cancer

Des capsules de thorium précieuses pour la Targeted Alfa Therapy

Le passé recèle parfois de précieux trésors pour l'avenir. Le SCK•CEN a produit dans les années '70 des sources de thorium et est aujourd'hui l'un des rares instituts de recherche au monde à être en possession de thorium-229. Ce radioisotope, aussi rare que prometteur, offre un réel potentiel dans le traitement contre le cancer.

Le thorium-229 (Th-229) est un radioisotope précieux utilisé dans les horloges nucléaires, par exemple. Mais ce n'est pas tout : les produits de décroissance, l'actinium 225 (Ac-225) et le bismuth 213 (Bi-213), présentent un grand potentiel dans le traitement contre le cancer. Un profil prometteur, qui comporte bien un problème de taille : la quantité mondiale de Th-229 est très limitée. Mais le SCK•CEN est parvenu à révéler des quantités intéressantes de Th-229 dans les sources historiques de thorium, ce qui a permis de démarrer la recherche et le développement de produits radiopharmaceutiques. L'intérêt augmente en particulier pour le produit de désintégration Ac-225, tant pour les applications directes que pour la création d'un générateur de Bi-213.





### Targeted Alpha Therapy

L'Ac-225 et le Bi-213 peuvent être liés à des anticorps spécifiques. Un anticorps est un type de molécule de transport à laquelle une particule radioactive de courte durée peut être accrochée. L'anticorps lié aux Ac-225 ou Bi-213 se déplace ensuite dans le corps et se lie spécifiquement à une cellule cancéreuse comme une clé dans une serrure. Lors de la désintégration radioactive des Ac-225 et Bi-213, des particules alpha se libèrent et vont détruire les cellules cancéreuses. C'est le principe de ce que l'on appelle la « Targeted Alpha Therapy (TAT) ».

### Un des seuls au monde

Le SCK•CEN est l'un des seuls instituts de recherche au monde à être en possession de Th-229 comme source d'Ac-225 et de Bi-213. Au cours de l'examen des sources historiques de thorium, la quantité disponible de Th-229 a été déterminée à l'aide d'une méthode de mesure non destructive basée sur la spectrométrie gamma et la modélisation mathématique. La méthode qualitative appliquée offre l'avantage que le joint hermétique des capsules historiques est resté intact et que la pureté du produit coûteux n'a pas été affectée. Les connaissances et l'expérience du groupe d'expertise *Démantèlement, Décontamination et Déchets* ont été cruciales pour la détermination de l'appareillage de mesure et de l'interprétation des résultats. Le thorium – seulement 1 mg ! – se trouvait dans des capsules qui ont dû être ouvertes avec le plus grand soin.

« Le SCK•CEN est l'un des seuls instituts de recherche au monde à être en possession de Th-229, un précieux radioisotope. »

« Avec notre examen pré-clinique, nous voulons convaincre le secteur médical de la grande valeur ajoutée de la Targeted Alpha Therapy. Ces informations peuvent permettre au SCK•CEN de développer une production d'isotopes à grande échelle. Un avenir résolument prometteur ! »

### Opération réussie

L'ouverture de la capsule a eu lieu en décembre 2016. Avec succès ! Des actions ont immédiatement démarré sous la forme du projet SERAPHIM (*Separation of thorium-229 from historical sources for the production of radioisotopes for targeted alpha immunotherapy*). Le contenu radiologique a d'abord été traité pour la séparation du Th-229. L'objectif est ensuite de produire un générateur Ac-225/Bi-213, d'où le Bi-213 sera extrait pour le développement des anticorps associés au Bi-213 pour la thérapie des cancers des ovaires et du sein. Un programme réalisé dans le cadre du doctorat de Yana Dekempeneer, une collaboration réussie entre le groupe d'expertise *Radiochimie* et la Vrije Universiteit Brussel (VUB).

Thomas Cardinaels, à la tête du projet, est convaincu que ces isotopes émetteurs alpha ont un grand avenir : « Avec notre examen pré-clinique, nous voulons convaincre le secteur médical de la grande valeur ajoutée de la Targeted Alpha Therapy. Ces informations peuvent permettre au SCK•CEN de développer une production d'isotopes à grande échelle. Un avenir résolument prometteur ! »



**Contribuer aux  
grands défis  
sociétaux**

**04**

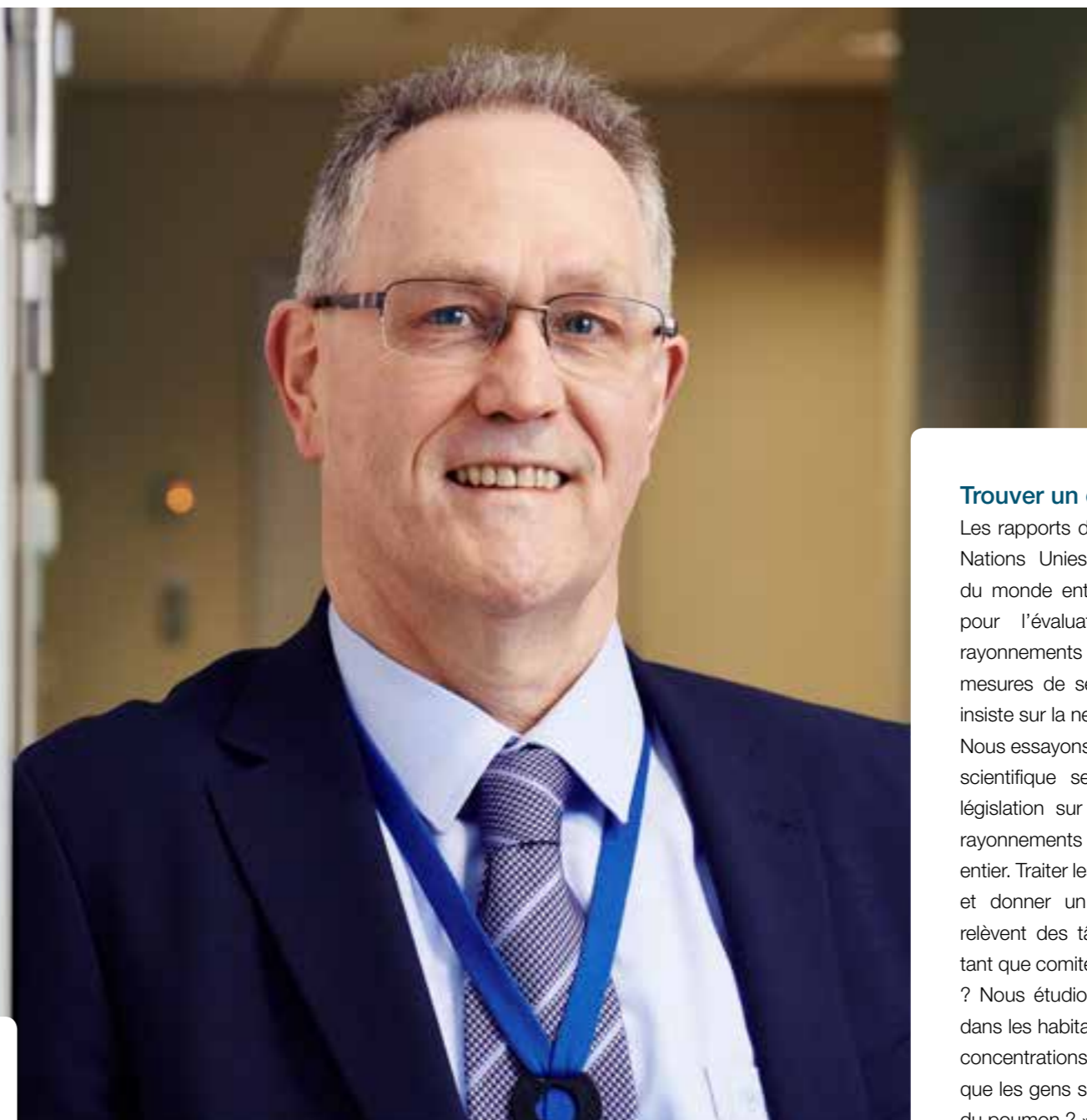
# « Je n'aurais jamais pu rêver d'être président »

Hans Vanmarcke à la tête de l'UNSCEAR

En 1996, il devient membre de la délégation scientifique de la Belgique. Au fil des ans, il ne rate pas une réunion à Vienne. En 2008, le Ministère des Affaires étrangères le choisit pour prendre la tête de la délégation belge. Sept ans plus tard, il est nommé vice-président. Enfin, en 2016, les 27 pays participants le choisissent comme président. Un parcours sans faute mené dans le prestigieux comité scientifique des Nations-Unies sur les effets de l'exposition aux rayonnements ionisants, (UNSCEAR). Son nom ? Hans Vanmarcke, expert en radioprotection du SCK•CEN.

1955. En pleine guerre froide, les États-Unis et l'URSS réalisent des essais nucléaires aériens. Les deux superpuissances contaminent le monde avec de grandes quantités de matières radioactives dégagées dans l'atmosphère. La nécessité d'une organisation responsable de cartographier de manière neutre les retombées radioactives se fait sentir.

L'Assemblée générale des Nations Unies instaure l'UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*). Son mandat : évaluer partout dans le monde les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants et en évaluer les effets sur la santé. Cette exposition n'est pas seulement le résultat de la course aux armements, elle est aussi le résultat du développement de l'énergie nucléaire, de l'extraction des matières premières, de la croissance des applications médicales et de l'exposition naturelle.



Hans Vanmarcke, président de l'UNSCEAR, explique la différence importante de cet organisme par rapport à des organisations comme l'Agence internationale de l'énergie atomique et l'Organisation mondiale de la santé : « Ces organisations ont un siège fixe où travaillent un grand nombre d'employés. C'est totalement différent pour l'UNSCEAR. Nous ne disposons que d'un petit secrétariat à Vienne. Les informations viennent des pays participants. » Mais chaque désavantage a son avantage : « L'UNSCEAR a un statut important parce que nous rapportons directement à l'Assemblée générale des Nations Unies. »

## Trouver un consensus

Les rapports de l'UNSCEAR offrent aux Nations Unies et aux gouvernements du monde entier une base scientifique pour l'évaluation des risques des rayonnements ionisants et la prise de mesures de sécurité. Hans Vanmarcke insiste sur la neutralité de l'UNSCEAR : « Nous essayons de trouver un consensus scientifique servant de base pour la législation sur la protection contre les rayonnements ionisants dans le monde entier. Traiter les résultats des recherches et donner un aperçu de la situation relèvent des tâches de l'UNSCEAR en tant que comité scientifique. Un exemple ? Nous étudions la présence de radon dans les habitations : quelles en sont les concentrations et quelle est la probabilité que les gens soient atteints d'un cancer du poumon ? »

L'UNSCEAR communique en outre également directement avec la population sur l'exposition aux rayonnements ionisants et ses conséquences : « Nous réalisons notamment une brochure intitulée 'le rayonnement : ses effets et les sources' éditée par l'UNEP (le programme des Nations Unies pour l'environnement). Le travail de traduction dans un grand nombre de langues ne doit pas être sous-estimé. »



### L'heure de la Belgique

Hans Vanmarcke est membre de la délégation belge depuis 1996. « C'est un grand privilège et un grand honneur de présider cette commission des Nations Unies et de représenter la Belgique. J'investis déjà énormément de mon temps dans l'UNSCEAR depuis de nombreuses années et plusieurs collègues du SCK·CEN ont contribué à des rapports de l'UNSCEAR. Ma présidence contribue à notre réputation et notre prestige. Mais ce privilège ne revient pas qu'à notre centre de recherche, j'implique également d'autres organisations belges. »

La présidence de Hans Vanmarcke a aussi des conséquences pour l'ambassade de Belgique en Autriche : « La Belgique doit maintenant prendre l'initiative dans des efforts diplomatiques auprès de l'ONU en lien avec l'UNSCEAR. Je dirige la partie scientifique, l'Ambassadeur prend en charge la diplomatie. »

Actuellement, 27 pays sont membres de l'UNSCEAR : « En 2017, nous devons résoudre un sujet diplomatique délicat : la question de l'extension de la Commission à de nouveaux États membres. Attention, être membre n'est pas un cadeau, c'est une responsabilité. Vous avez pour mission, en tant que pays, de signifier quelque chose pour le monde, et cela n'est possible qu'avec des scientifiques motivés. »

### Un rêve devenu réalité

Pendant la durée du mandat de Hans Vanmarcke, l'UNSCEAR va se consacrer à la réalisation de différents rapports attendus de longue date : les conséquences pour la santé de l'exposition au radon dans les maisons, les mécanismes biologiques de l'exposition à des faibles doses de rayonnements ionisants, les études épidémiologiques sur l'incidence du cancer lié aux rayonnements ionisants et l'incidence du cancer 'secondaire' après radiothérapie. »

« Il est essentiel de poursuivre nos recherches sur les effets des rayonnements ionisants sur la santé, en particulier les effets des faibles doses de rayonnement. Fournir des informations scientifiques validées à l'Assemblée générale des Nations Unies, à la communauté scientifique et au grand public reste notre priorité. »

« C'est un travail ardu, mais aussi une manière rêvée de couronner ma carrière. Après mes deux années en tant que président, j'officierai encore deux ans comme ancien président. Je n'avais jamais imaginé pouvoir un jour présider une telle organisation internationale. »

« Vous avez pour mission, en tant que pays, de signifier quelque chose pour le monde, et cela n'est possible qu'avec des scientifiques motivés. »

## DES RAPPORTS PRÉCIEUX

Depuis sa constitution, l'UNSCEAR a publié une vingtaine de recherches très importantes. Ces rapports sont devenus la norme au niveau mondial et sont utilisés comme référence par la communauté scientifique. Voici quelques exemples :

- Effets des rayonnements ionisants sur les animaux et les plantes ;
- Études épidémiologiques sur le lien entre le cancer et l'exposition aux rayonnements ionisants ;
- Effets de l'exposition au radon dans les maisons et les lieux de travail ;
- Effets sur la santé de l'exposition des enfants à des rayonnements ionisants ;
- Aperçu de l'exposition mondiale aux rayonnements ionisants (Fukushima, Tchernobyl, médecine, etc.) ;
- Exposition aux rayonnements ionisants dans la production d'électricité en fonction de la méthode de production.

Plus d'informations sur : <http://www.unscear.org>

# Quel impact a la radiothérapie sur notre santé ?

## Vers de meilleurs traitements diagnostiques et thérapeutiques

La thérapie par rayonnements ionisants peut avoir des effets néfastes sur la santé. Les chercheurs du SCK•CEN analysent quand se produisent ces effets et comment ceux-ci peuvent être évités. Des données cruciales pour le secteur médical qui utilise de plus en plus cette technologie efficace pour les traitements diagnostiques et thérapeutiques.

En 1945, la bombe atomique touchait les villes japonaises d'Hiroshima et de Nagasaki. Les fœtus ayant alors reçu des doses d'irradiation élevées entre la 8<sup>e</sup> et la 25<sup>e</sup> semaine, ont présenté à l'âge de 12 ans des signes clairs d'un retard du développement mental. La taille de leur cerveau était également plus petite.

Seules des données statistiques existent à ce sujet, aucune étude sur les mécanismes sous-jacents. Voilà pourquoi les scientifiques du SCK•CEN étudient depuis des années les effets de l'exposition à des rayonnements ionisants pendant la période fœtale et au début de l'âge post-natal. Il s'agit plus précisément de l'influence sur le développement et de la fonctionnalité du cerveau, de la neuro-dégénérescence et du processus de vieillissement, y compris le déclenchement précoce de la maladie d'Alzheimer. Les chercheurs ont également testé des moyens qui auraient pu,

avant ou juste après la naissance, protéger contre les effets néfastes de l'exposition aux radiations.

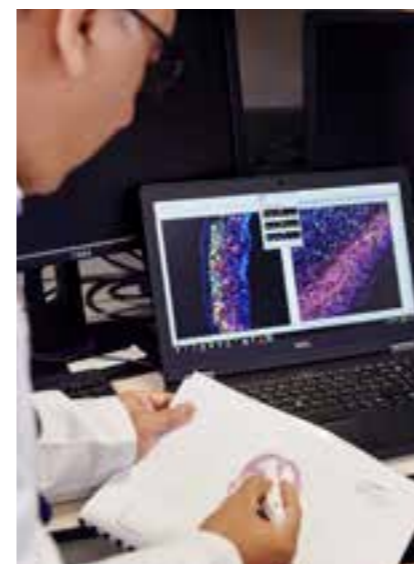
Pour effectuer ces études, les chercheurs du SCK•CEN bénéficient d'une infrastructure de pointe, l'animalerie, et sont en mesure de vérifier comment les rayonnements ionisants influencent le cerveau

et le comportement des souris. Les effets se manifestent beaucoup plus rapidement que chez l'homme. Les scientifiques travaillent également sur un modèle génétique de souris qui est susceptible de développer la maladie d'Alzheimer.

### Un lien clairement établi

Les conclusions de ces études sont claires : dans la première période de développement des organes, un rayonnement ionisant à des doses suffisamment élevées peut entraîner des malformations comme des microphthalmies (anomalie des yeux) et une exencéphalie (développement incomplet du crâne). Au début de la période de création des nouvelles cellules nerveuses, l'exposition aux rayonnements ionisants cause des troubles du développement et des modifications fonctionnelles et structurelles dans le cerveau – où surviennent des problèmes de comportement.

Actuellement, les chercheurs évaluent les mécanismes sous-jacents à ces troubles et les biomarqueurs liés. Cela permettra à l'avenir d'identifier les personnes présentant



un risque de contracter certaines maladies à la suite d'une exposition aux rayonnements ionisants. Le but est également de tester des moyens qui offrent une meilleure protection des tissus sains en cas d'exposition aux rayonnements ionisants.

### Des méthodes plus sensibles

Dans le même temps, des recherches sont réalisées sur les effets des rayonnements ionisants sur des embryons de souris au niveau du développement du cerveau, et plus spécifiquement les effets à hauteur du tube neural (précurseur du système nerveux central) et le développement d'une microcéphalie (petit cerveau). Les chercheurs du SCK•CEN tentent de comprendre les mécanismes moléculaires de ces défauts et vérifient si l'administration d'acide folique ou d'inhibiteurs du gène p53 peuvent lutter contre ces mécanismes.

Ils ont en effet constaté que le gène p53, qui règle l'expression de nombreux autres gènes, joue un rôle central dans le mécanisme induisant une réduction du développement du cerveau après irradiation, comme cela a également été vu dans l'infection avec le virus Zika. En raison de son rôle dans le développement



de nombreux cancers, le gène p53 est le gène le plus étudié dans les sciences médicales et biologiques. Le SCK•CEN a néanmoins découvert de nouveaux gènes cibles du p53, une avancée importante pour plusieurs domaines de la recherche.

Grâce à des méthodes plus sensibles pour la mesure de la taille du cerveau et les fonctions cognitives, les scientifiques ont pu démontrer que l'exposition prénatale aux rayonnements ionisants peut avoir des effets négatifs à des doses plus faibles que ce que l'on avait soupçonné précédemment. Ces doses peuvent cependant toujours être considérées comme des doses relativement élevées dans le contexte d'un diagnostic médical.

« Le but est d'atteindre une meilleure protection des tissus sains en radiothérapie et de contribuer de la sorte à une meilleure qualité de vie des patients. »

### Identification de biomarqueurs

Les rayonnements ionisants ont également un effet sur le système cardiovasculaire, souvent après une période d'une ou deux décennies seulement. Cela a également été observé chez des survivants des explosions des bombes atomiques au Japon lors de la seconde guerre mondiale. Les troubles cardiovasculaires peuvent également se présenter à la suite du traitement contre le cancer du sein par radiothérapie. Lorsque les symptômes se présentent, la maladie est souvent déjà bien avancée. Il est dès lors nécessaire, d'une part d'identifier les biomarqueurs qui indiquent déjà rapidement que quelque chose se trame et, d'autre part, d'intervenir pour empêcher le développement de ces troubles.

Sur base de ces recherches sur les mécanismes cellulaires et moléculaires sous-jacents des maladies cardiovasculaires induites par rayonnement, les scientifiques du SCK•CEN bénéficient d'une meilleure vision des risques potentiels pour la santé pour les personnes exposées aux rayonnements ionisants. Une attention particulière est notamment consacrée au développement de l'athérosclérose. Les chercheurs tentent ainsi de contribuer à la formulation de meilleures directives pour la radioprotection cardiovasculaire. Ils veulent également identifier les agents susceptibles de limiter les effets nocifs des rayonnements ionisants s'ils sont administrés juste avant, pendant ou après le traitement.



Cette recherche est possible grâce à des cultures cellulaires in vitro des cellules endothéliales, les cellules qui tapissent les vaisseaux sanguins et qui sont en contact direct avec le sang. Ces cellules endothéliales sont importantes pour permettre un fonctionnement normal du système cardiovasculaire. Leur dégradation peut conduire à l'apparition de maladies cardiovasculaires. Dans le cadre de cette étude, des souris sont exposées à des rayonnements ionisants et des échantillons de sang de patients cancéreux traités par radiothérapie sont également analysés.

Entretemps, les scientifiques ont découvert qu'une faible dose de rayons X pouvait causer des dommages à l'ADN et tuer des cellules. Les résultats des dommages à l'ADN montrent une relation non linéaire avec relativement plus de dommages à l'ADN avec des doses plus faibles.

Un rayonnement chronique à faible dose peut conduire à un profil de stress cellulaire et à une inflammation dans un premier temps, ce qui peut se traduire ensuite par un vieillissement cellulaire prématuré. Les scientifiques mettent également en lumière les mécanismes derrière les effets retardés du rayonnement ionisant. Ils veulent à présent étudier davantage la communication intercellulaire : comment les cellules communiquent dans une zone irradiée avec d'autres cellules, et comment peut-on empêcher cette communication intercellulaire.

## Expertise

Nous prôtons  
la pertinence sociale

Le SCK•CEN utilise son expertise scientifique et technique afin de proposer des réponses et solutions aux questions sociales. Notre eau potable est-elle sûre ? Quels sont les risques potentiels de l'exposition aux rayonnements ionisants à des fins diagnostiques et thérapeutiques ? Le SCK•CEN rassemble. Nous nous renseignons auprès de la population pour mieux cibler leurs valeurs et attentes. Nous passons ensuite au dialogue autour des risques sur l'utilisation des rayonnements ionisants. Nous apportons notre expertise au Sud. Nous sommes ancrés dans la société.

### Hildegarde Vandenhove

Directeur de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité



# Un rôle clé dans les mesures de radioactivité sur l'eau potable

De nouvelles techniques de mesure affinées et validées



La surveillance radiologique de l'eau potable n'est pas nouvelle. Le groupe d'expertise LRM (*Mesures de faible radioactivité*) effectue depuis de nombreuses années déjà des analyses de l'eau potable, en particulier via des mesures globales alpha et bêta. Il travaille notamment pour certains grands producteurs de boissons rafraîchissantes.

## Nouvelles valeurs indicatives

La recherche s'est accélérée ces dernières années à la suite de la transposition dans le droit belge d'une nouvelle réglementation européenne. « En 2013, la nouvelle directive européenne 2013/51/EURATOM a établi des valeurs indicatives pour le contrôle de la radioactivité dans l'eau potable et dans l'eau utilisée dans les préparations alimentaires ou qui entre en contact avec les aliments », explique Michel Bruggeman. « La nouvelle réglementation définit également les valeurs indicatives relatives aux nucléides à surveiller lors des contrôles approfondis. »

Conséquence ? « Tant les producteurs d'eau potable que les entreprises de l'industrie alimentaire qui utilisent de l'eau qui entre en contact avec les aliments doivent faire contrôler leurs différentes sources d'eau. Tout dépend bien sûr de l'interprétation que donne chaque État membre à la directive. Pour nous, les différences dans les législations nationales constituent un défi supplémentaire. »

Freddy Verzezen cadre l'importance des contrôles : « Il ne s'agit pas seulement de l'eau qui est éventuellement contaminée de manière radioactive par les activités humaines, mais surtout des concentrations de radioactivité causées par la radioactivité naturelle. Les eaux souterraines entrent en contact dans le sous-sol avec des roches porteuses ayant d'une certaine radioactivité naturelle. Elles contiennent donc toujours des radionucléides provenant de la décroissance de l'uranium, du thorium et du potassium présents naturellement dans la roche. »

## Rapide, sensible et abordable

« L'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) organise le contrôle de l'eau potable sur la base d'un arbre décisionnel : un dépistage est d'abord effectué (mesures générales et quantification de deux nucléides clés) et, selon les résultats de ce dépistage, des analyses plus approfondies sont effectuées pour détecter davantage de radionucléides. Pour le dépistage de base de la radioactivité, nous avons acheté des compteurs proportionnels que nous utilisons pour mesurer l'activité globale alpha et bêta. »

Les radionucléides importants peuvent être répartis en deux groupes. À l'origine du premier se trouve la radioactivité naturelle, le second résulte d'une activité humaine. Michel Bruggeman : « Nous avons surtout travaillé sur le premier groupe et nous avons établi de nouvelles techniques de mesure pour le Ra-226, le Ra-228, le Rn-222 et le Pb-210. »

Les chercheurs de LRM ont donc eu pour défi de développer de nouvelles techniques de mesure de l'eau pour les analyses spécifiques aux nucléides, et qui permettent de donner des résultats rapides et abordables. Mais ce n'est pas seulement la rapidité de la technique qui est importante, précise Freddy Verzezen : « Elle doit également être fiable et satisfaire à la sensibilité que la directive impose. »

« Parfois, la réussite d'une méthode réside dans les petites choses que vous devez découvrir pendant vos recherches. »



Au cours des prochaines années, de nombreuses sources d'eau devront subir un contrôle de radioactivité, conformément à une directive européenne récente. Comment déterminer les différents radionucléides et paramètres dans l'eau potable ? Les chercheurs du SCK•CEN ont sélectionné les techniques de mesure nucléaires, les ont affinées et validées.

Michel Bruggeman et Freddy Verzezen

### Pas la meilleure mais la mieux adaptée

La chercheuse Mirela Vasile a coordonné le développement des techniques de mesure pour ces contrôles. Elle a utilisé des filtres à membranes pour filtrer certains éléments de l'eau et mesurer ensuite de manière sélective. Une telle technologie de membrane offre un moyen rapide de retirer certains éléments de l'eau, mais la méthode complète doit également être équilibrée : « Il nous a fallu plusieurs mois pour pouvoir garantir la stabilité de la mesure avec un disque spécifique : un RAD™. Celui-ci est sélectif pour le radium et sert donc pour la détermination du Ra-226 et du Ra-228. Après le filtrage de l'eau, vous pouvez simplement mesurer la membrane par l'intermédiaire d'une spectroscopie par scintillation liquide ou d'une spectrométrie gamma. Vous devez en outre connaître les traitements appropriés de la membrane et le début de la mesure pour pouvoir réaliser des mesures fiables. »

### Une équipe prête pour le futur

Peu de laboratoires en Belgique peuvent réaliser toutes les analyses de la radioactivité nécessaires dans les échantillons d'eau potable. Le nombre d'échantillons d'eau qui devront faire l'objet de recherches au cours des prochaines années est encore difficile à déterminer, mais le groupe d'expertise LRM s'est préparé pour assurer une grande partie de ces tests dans les prochaines années. « Nous avons anticipé la demande en étendant la capacité de mesure du dépistage. Nous avons acheté des compteurs supplémentaires et développé des techniques avec des flux courts. Nous ne sommes en outre pas restés inactifs dans la prospection de clients et avons recherché des partenariats avec d'autres laboratoires d'analyse qui ne peuvent effectuer que les analyses chimiques ou biologiques. Nous attendons les commandes avec impatience ... »



# Faire de la Science avec et pour les gens

## PISA jette un pont entre la science et la société

Le SCK•CEN a lancé dans les années 1990 le 'Programme for Integration of Social Aspects into nuclear research', ou PISA. Ce programme est devenu la force motrice pour traiter les sciences sociales et humaines dans le débat nucléaire au niveau européen. Plus que jamais, le SCK•CEN joue un rôle de premier plan dans cette intégration. Rencontre avec Catrinel Turcanu et Tanja Perko du groupe *Etudes de la Science et de la Technologie nucléaires*.

### Pourquoi les sciences sociales et humaines doivent-elles avoir leur place dans un domaine dominé par les sciences exactes ?

**Catrinel Turcanu** : Vous ne pouvez plus aujourd'hui faire de la science nucléaire en ignorant le lien avec la société. La Science se fait avec et pour les gens. Cela signifie que l'on tient compte des normes, des valeurs et des avis de tous les intervenants. Les chercheurs, l'industrie et le gouvernement, mais aussi chaque personne de notre société. Le programme PISA du SCK•CEN jouit d'une réputation internationale grâce à son rôle de pionnier. Nous avons acquis une grande expertise dans l'intégration des sciences sociales et humaines, et plus précisément dans l'étude des risques liés aux rayonnements ionisants.

### Les spécialistes des sciences exactes s'y sentent-ils bien ?

**Tanja Perko** : Nous sortons les experts des sciences exactes de leur zone de confort. Mais nous ne sommes pas disruptifs, nous générons de nouvelles solutions. Parce que ce n'est qu'ensemble que nous pouvons pratiquer la Science de manière correcte. Davantage d'interactions sont nécessaires, vous devez dépasser les limites entre les différentes disciplines : les aspects sociaux et techniques ne peuvent être dissociés.



« Notre travail est contagieux ! Il y a de plus en plus d'initiatives pour l'intégration des aspects sociaux et éthiques dans la recherche nucléaire au niveau international. »

Mettre les scientifiques face à un miroir peut être ennuyeux, mais cela peut également s'avérer utile. Au SCK·CEN, nous avons développé pendant 15 ans un rapport de confiance nécessaire. Et c'est contagieux, car l'on rencontre de plus en plus d'initiatives pour l'intégration des aspects sociaux et éthiques dans la recherche nucléaire au niveau international.

**Après l'accident nucléaire de Fukushima en 2011, la Commission européenne a estimé qu'il fallait agir au niveau de la communication sur les rayonnements ionisants. De là est né le projet EAGLE ...**

**Tanja Perko :** Comment informer la population des risques et des avantages des rayonnements ionisants ? Comment prendre des décisions éclairées ? Que doit-on faire en cas d'incident ? Dans le cadre du projet EAGLE, nous avons cartographié des données nationales et internationales, des méthodes et des instruments, nous avons analysé les besoins d'enseignement, d'explication et de communication et nous avons identifié les possibilités de coordination au niveau européen. EAGLE a également été une étape dans le sens d'un idéal de communication. Réunir tout le monde autour de la table et apprendre les uns des autres : le secteur nucléaire, les utilisateurs des rayonnements ionisants, le gouvernement, les médias, les citoyens informés, etc.

**Quel est le résultat final concret de EAGLE ?**

**Tanja Perko :** Une série de recommandations visant la réalisation d'un processus de communication dans lequel le citoyen est au centre des préoccupations – toujours dans le cadre des risques liés aux rayonnements ionisants. Des producteurs aux journalistes, chacun peut faire usage de ces recommandations. Elles seront publiées dans un livret pour RICOMET 2017.

**Catrinel Turcanu :** RICOMET est une conférence internationale sur la perception des risques, la communication et l'éthique lors de l'exposition aux rayonnements ionisants. Encore une initiative du SCK·CEN ! En 2015 et 2016, RICOMET était l'endroit par excellence pour dialoguer sur la recherche scientifique, la communication, la perception des risques et l'éthique - toujours à un niveau international et sur les applications nucléaires, la radioactivité naturelle et la protection contre les rayonnements. Une étude s'est par exemple intéressée à la citoyenneté au Japon, après l'accident de Fukushima. Directement après la catastrophe, les citoyens japonais ont pris les choses en mains en mesurant la radioactivité des environs à l'aide de compteurs Geiger et en partageant en ligne les données récoltées. Cette forme de citoyenneté répond à un besoin de partager des informations fiables sur le rayonnement. Nous en avons tiré des leçons pour l'avenir.



**Tout a commencé avec PISA. Comment comptez-vous donner plus d'impact à vos efforts à l'avenir ?**

**Catrinel Turcanu :** Une intégration plus importante est nécessaire. Nous avons également abordé l'apport des sciences humaines et sociales, notamment dans les projets européens OPERRA et CONCERT. Mais cela reste trop fragmenté. Nous avons donc proposé, en collaboration avec nos partenaires internationaux et dans le cadre du projet CONCERT HORIZON 2020, d'élaborer un programme stratégique pour les sciences sociales et humaines dans la recherche sur la protection contre les rayonnements ionisants. Nous voulons briser les frontières des différentes disciplines concernées par les rayonnements ionisants, mais aussi les frontières entre la science académique et la société. Le tout pour pouvoir mieux répondre aux exigences du grand public et pour impliquer les décideurs. Cela doit porter non seulement sur la communication mais aussi sur d'autres aspects sociaux et éthiques extrêmement importants. Vous ne pouvez pas isoler ces éléments. En tant que pionnier dans l'intégration de tous ces aspects, le SCK·CEN continue plus que jamais à jouer son rôle.

**Organiser une conférence est une chose, mais comment maintenir l'intérêt et la discussion ?**

**Tanja Perko :** Il y a tout d'abord notre réseau. Nous continuons à l'activer via une plate-forme européenne pour les sciences sociales et humaines dans la recherche sur les rayonnements ionisants. Nous voulons également développer un environnement pour une recherche et une innovation responsables dans le domaine des rayonnements ionisants. Il est important que nous continuions à stimuler l'autoréflexion au sein des communautés techniques. Nous voulons être une source d'inspiration pour la recherche scientifique et sociale dans divers domaines. Naturellement, nous allons toujours adapter notre recherche aux valeurs, attentes et besoins sociaux. Nous aimerions aussi créer un centre des sciences publiques pour développer des relations avec les médias et pour communiquer de manière intensive avec le monde extérieur.

# Le projet Inspiration propulse les recherches spatiales au Congo

## Lutter contre la malnutrition infantile grâce à la spiruline

En République Démocratique du Congo, quelque 43 % des enfants de moins de cinq ans souffrent de malnutrition chronique, avec, pour conséquence, une mortalité infantile très élevée. Les chercheurs du SCK•CEN ont cherché une manière durable d'aider ces enfants et ont lancé le projet « Inspiration ». Son objectif : développer la culture de la spiruline, une algue riche en vitamines et minéraux essentiels, dans les familles congolaises. Le premier projet d'une longue série pour le centre de recherche qui entend contribuer de manière concrète et durable à un monde plus équitable.

« Nous avons toujours soutenu financièrement une série d'initiatives caritatives », explique Eric van Walle, directeur général du SCK•CEN. « De plus en plus, nous avons commencé à nous demander ce que nous soutenions exactement, quel en était le résultat et quel était notre objectif ? Nous avons alors décidé de construire notre propre projet social en impliquant activement notre personnel. Nous avons donc pris contact avec l'association 'Entrepreneurs pour Entrepreneurs', une organisation qui motive les entreprises du Nord à nouer une collaboration durable avec celles du Sud. Une optique intéressante que nous avons proposé à nos collaborateurs. »

Un appel qui a fait écho auprès du chercheur Felice Mastroleo : « La direction nous a demandé si nous avions une idée de ce qui pourrait être appliqué en Afrique. Avec quelques collègues, nous avons présenté le projet 'Inspiration' pour Introduction of SPIRulina in equatorial Africa To Improve Local Nutrition. Notre objectif était de démarrer au Congo la culture de la spiruline, un type d'algues, pour lutter contre la malnutrition chronique chez les enfants. »



### De l'espace au Congo

La spiruline n'a d'ailleurs pas été choisie au hasard. « Nous connaissons très bien le comportement de la spiruline grâce à notre travail sur le projet spatial avec l'Agence spatiale européenne », explique Felice. « Nous avons développé ensemble un système de recyclage pour les longs voyages spatiaux baptisé MELISSA. Le but est de produire de l'eau, des aliments et de l'oxygène pour les personnes dans l'espace. Dans ce système, les plantes et les bactéries

assurent le recyclage. La spiruline en fait partie : c'est en fait une cyanobactérie qui se situe entre la bactérie et la plante. La spiruline se développe aussi rapidement qu'une plante et produit de l'oxygène. Dans notre étude, nous examinons si la spiruline est résistante aux effets de l'espace, et en particulier au rayonnement ionisant et aux effets de la microgravité. »

« Le projet Inspiration montre bien l'ADN de notre centre de recherche. Dans au moins la moitié de nos activités, nous essayons de développer des solutions répondant à de grands défis sociétaux. »

Parmi toutes les propositions, la direction du SCK•CEN a jeté son dévolu sur le projet Inspiration, avec des objectifs clairs pour les bénévoles. « La première mission était d'avoir un bon contact sur place en Afrique », explique Eric van Walle. « Nous ne voulions pas simplement envoyer des gens là-bas. Nous avons également conclu un engagement avec nos bénévoles : ils pouvaient travailler un nombre d'heures donné sur le projet pendant la journée, à condition d'y consacrer autant de temps pendant leur temps libre. »

Les contacts avec des associations ont rapidement été noués. « Tout d'abord avec Louvain Coopération, une association de l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve, qui a mené un projet pour le Burundi », raconte Felice. « Malheureusement, la guerre civile nous a contraint à trouver une alternative. Nous avons alors choisi de collaborer avec l'ONG Congodorpen, une association qui travaille depuis des années sur de nombreux projets relatifs à l'agriculture et la médecine au Congo. L'association a développé un centre agricole dans le village congolais de Mooto. Les gens y produisent de l'huile de palme, du café, du cacao et élèvent également le poisson. »

### De Mol à Mooto

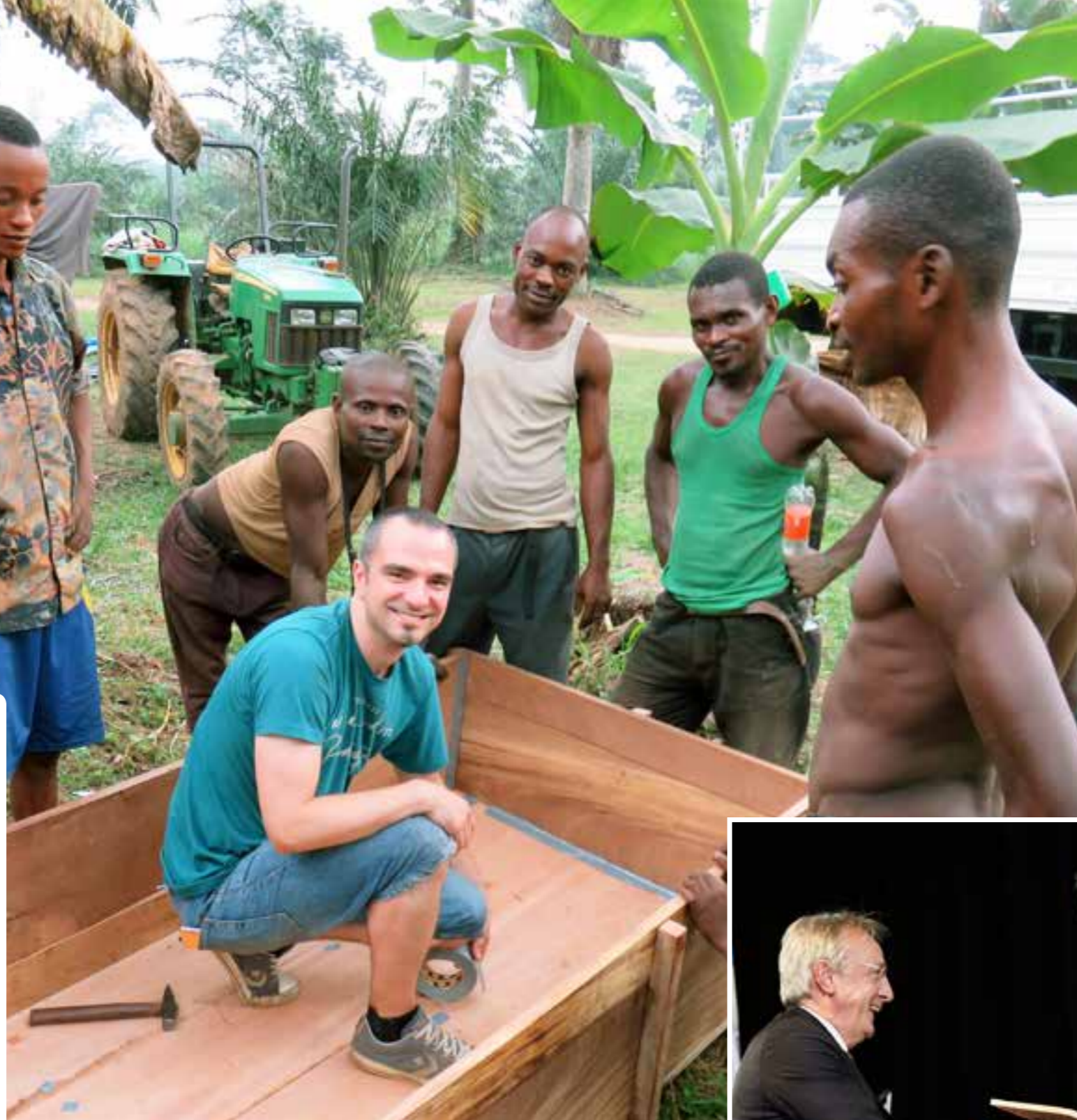
De la recherche en biologie moléculaire à la culture de la spiruline à grande échelle, il y a un pas important. Felice et le groupe de bénévoles ont donc construit dans l'un des bâtiments de recherche à Mol un bassin expérimental pouvant contenir 1000 litres d'eau. « Pour simuler le climat de l'équateur, la température était maintenue en permanence à 30°C. La lumière était aussi naturelle que possible. Le test avec le bassin a duré huit mois, et ce grâce à nos nombreux collègues qui se sont portés volontaires pour venir remuer régulièrement la spiruline. Nous avons aussi organisé un événement pour le personnel afin de récolter des fonds. Nos collègues ont pu déguster des gaufres, des pâtes et de la soupe au cerfeuil enrichies à la spiruline ! »



Durant l'été 2016, Felice s'est rendu avec son collègue Ben Vos à Mooto, au Congo : « Nous avons tout d'abord commencé la pré-culture de la spiruline et construit les bassins. Le défi pour la culture de la spiruline reste la composition des nutriments, même si la spiruline n'a besoin que de peu de choses. Nous avons emmené des nutriments de notre laboratoire, à l'exception des nitrates. Ceux-ci ne peuvent pas être transportés en avion. Sur place, nous sommes partis à la recherche d'une bonne source de nitrates à ajouter. »

**Eau pure, spiruline saine**

Le plus grand défi était de trouver de l'eau pure : « L'analyse des différentes sources a indiqué une grande présence de nitrites et de métaux lourds. La source la moins contaminée était la plus éloignée du village. Nous avons tout de même convaincu les gens à utiliser cette eau. La spiruline est très nourrissante, mais agit comme une éponge pour les métaux lourds. Pas de spiruline saine sans une eau propre. »



La spiruline s'est développée comme prévu. Les résidents de Mooto ont directement pu en manger : « Vous versez la récolte dans un filtre. Ce filtre capture les cellules de spiruline. Vous pouvez ensuite manger la spiruline à la petite cuillère. Malheureusement, la spiruline ne peut pas être conservée dans cet état. Nous avons donc développé une méthode pour la sécher. La population locale a donc pu l'ajouter à sa nourriture. La spiruline n'a pas beaucoup de goût, mais possède de nombreuses protéines par comparaison avec le manioc, leur nourriture quotidienne. »

Felice ne s'est pas contenté de mettre sur pied la culture de la spiruline à Mooto : « Nous avons montré comment les gens peuvent traiter mélanger la spiruline dans leur préparation à base de pondu, un légume similaire aux épinards. Nous avons aussi fait connaître la spiruline aux chercheurs des hautes écoles et des universités de sorte qu'ils puissent à leur tour transmettre ces connaissances dans leurs cours. Et nous avons montré à l'un des médecins de l'hôpital local ce à quoi il devait faire attention lorsqu'il donnait de la spiruline. »

**Un engagement reconnu**

Le projet Inspiration a suscité la curiosité des médias et a eu l'honneur d'être nommé pour le Trophée d'Entrepreneurs pour Entrepreneurs. « Ce projet montre bien l'ADN de notre centre de recherche. Dans au moins la moitié de nos activités, nous essayons de développer des solutions répondant à de grands défis sociétaux. Nous sommes donc clairement impliqués au niveau social. La durabilité est aussi essentielle à nos yeux, d'où notre volonté d'envoyer sur place nos chercheurs pour transférer leurs connaissances et permettre à la population locale de prendre sa santé en main de manière autonome. Comment aurions-nous pu mieux faire qu'avec un tel projet de santé publique ? »



**FINALISTE DU TROPHÉE DE L'ENTREPRENEUR LE PLUS DURABLE**

Notre projet Inspiration a été retenu parmi les finalistes du Trophée de l'Entrepreneur le plus durable organisée par l'association Entrepreneurs pour Entrepreneurs. Cet événement récompense le travail des entreprises belges qui stimulent de manière durable l'entrepreneuriat et la croissance économique dans les pays en voie de développement. Le SCK•CEN s'est vu décerner une récompense pour son travail accompli au Congo des mains d'Alexander De Croo, Vice-Premier ministre et ministre de la Coopération au développement.

# Chiffres clés

# 05

**768**  
TRAVAILLEURS

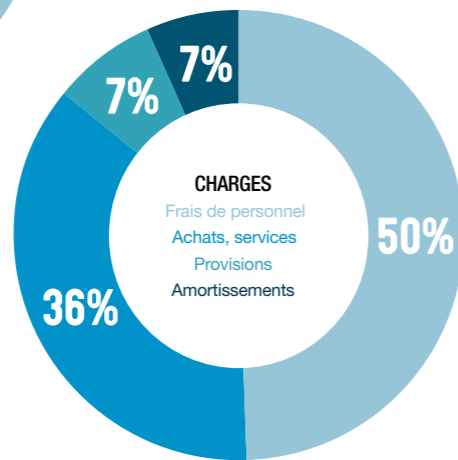
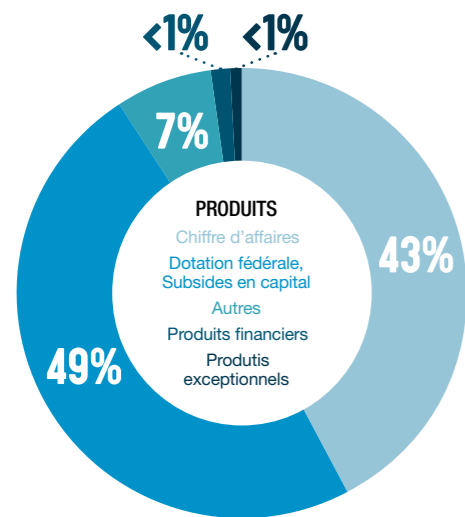
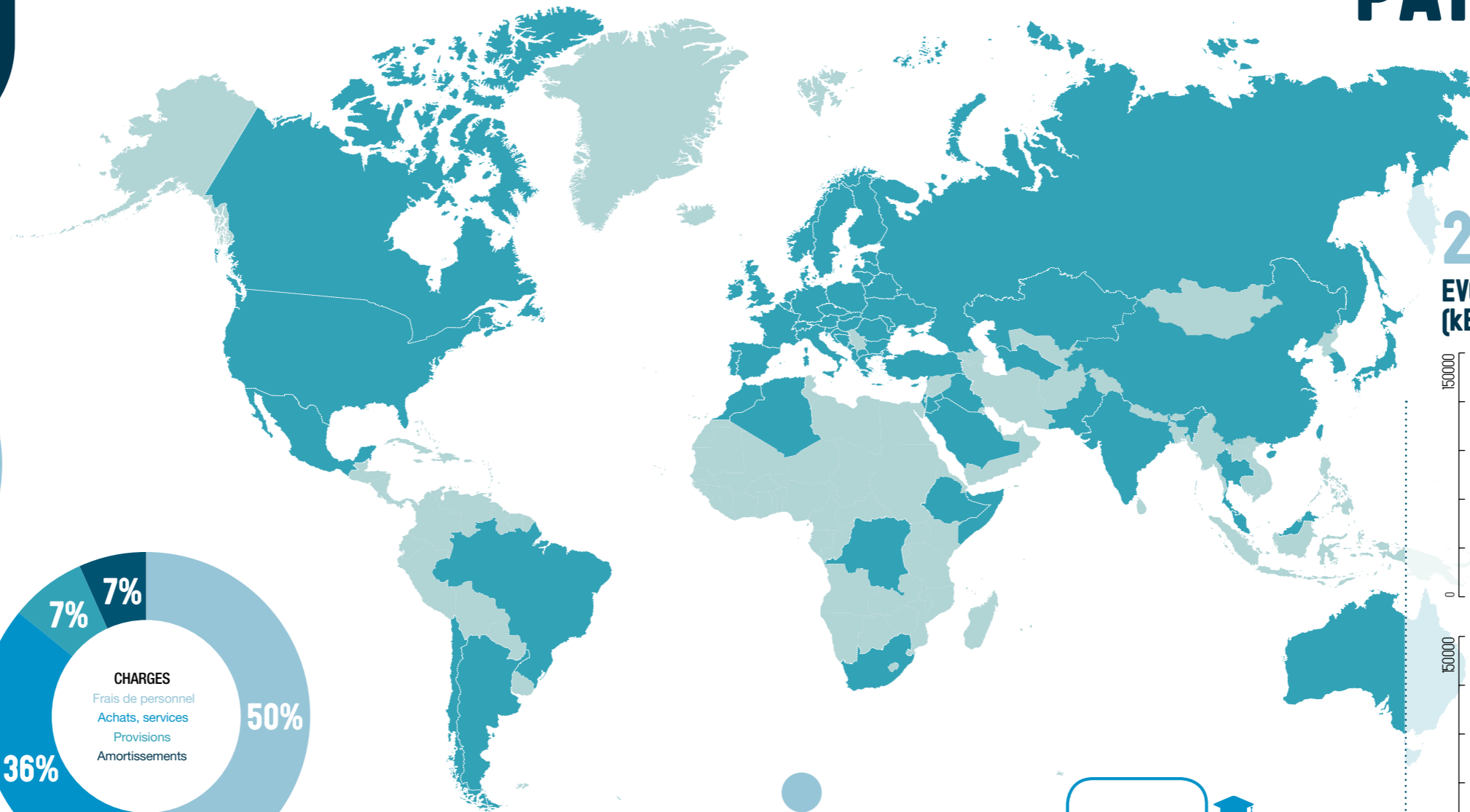
184 ♀  
584 ♂

35%  
UNIVERSITAIRES

73  
DOCTORANTS

41  
NATIONALITÉS

ACTIF DANS  
**57**  
PAYS

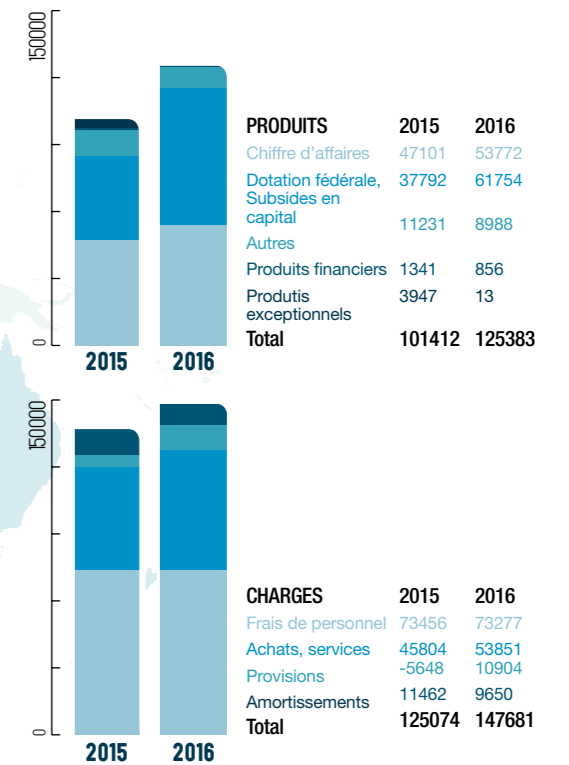


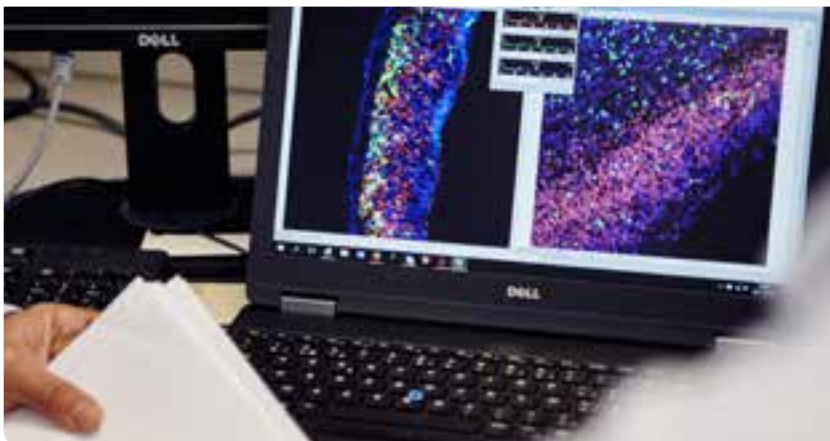
**994**

PUBLICATIONS  
SCIENTIFIQUES & PRÉSENTATIONS

## 2015-2016

### EVOLUTION DU BUDGET (KEUR)





**SCK • CEN**  
STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE  
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

**l'essentiel**  
**2016**

## 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

Erik Dams, erikdams.com  
Groupe d'expertise Communication

### Photographie

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

### Graphisme

Annelies Van Calster  
Danielle Knot  
leftlane.be

### Impression

Albe De Coker  
Hoboken

### Copyright © 2017 – SCK•CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2017). Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable du SCK•CEN.



# 2016

## 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](http://www.sckcen.be)



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

