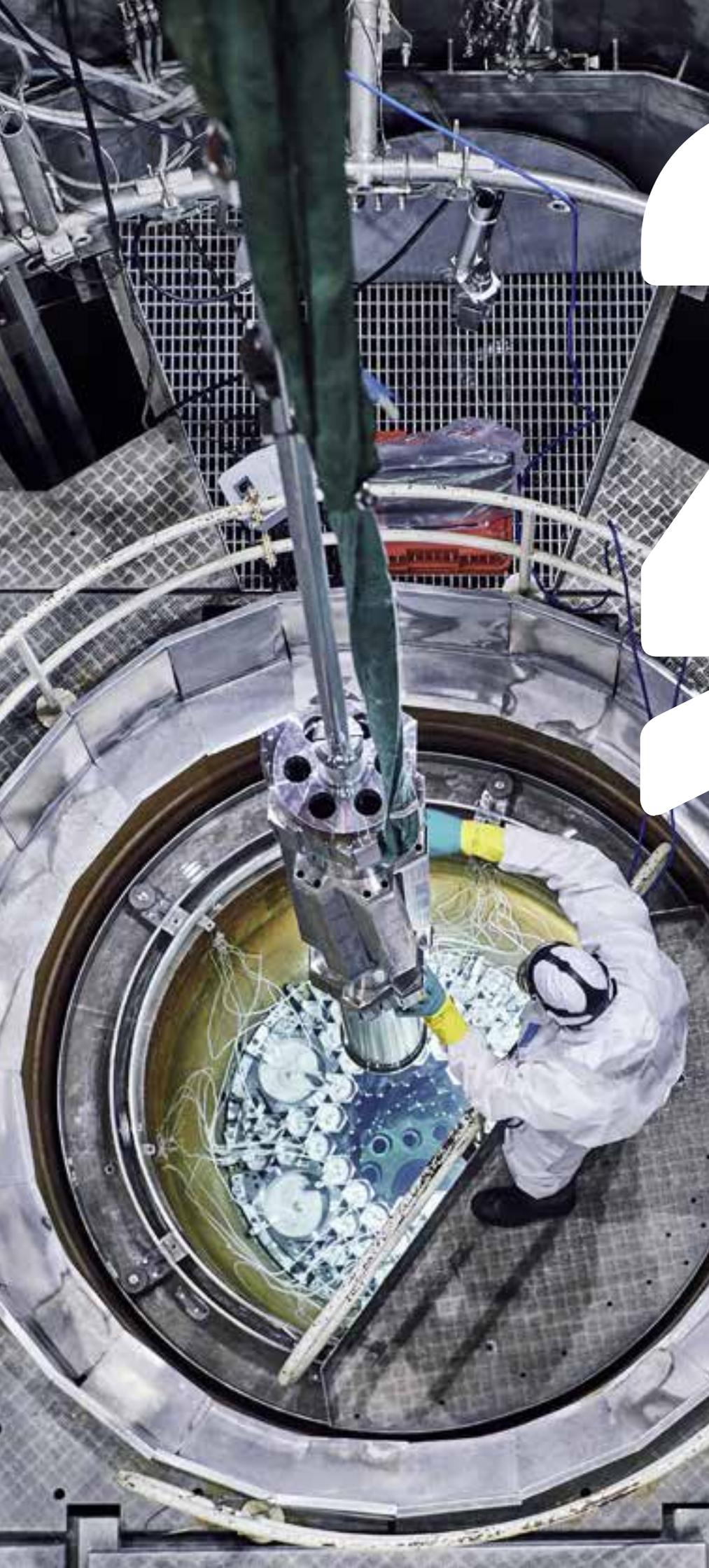


l'essentiel

2015



SCK • CEN

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

2015

« 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.



l'essentiel
2015

CHER LECTEUR,

2015 fut une année jalonnée de défis pour le SCK•CEN. Nous avons dû composer avec une dotation réduite et des investissements et coûts plus importants, tout en garantissant des travaux de recherche considérables. Un exercice d'équilibriste loin d'être simple.

La rénovation drastique du réacteur de recherche BR2 – un sujet phare de cette brochure – nous a rapidement placés dans une situation financière délicate. Pendant un an et demi, nous avons mis à l'arrêt notre principale installation, ce qui a logiquement entraîné une perte de revenus et une augmentation des frais d'investissement. Mais le jeu en vaut la chandelle : en juillet 2016, le BR2 rayonnera comme jamais auparavant ! Le réacteur pourra désormais accomplir jusqu'à huit cycles opérationnels par an, ce qui permettra au SCK•CEN de répondre de manière encore plus flexible aux souhaits de ses clients.

Notre réacteur BR2 fait figure d'installation de pointe à la renommée internationale, comme en témoignent les travaux de recherche appliquée effectués pour les réacteurs de Doel 3 et Tihange 2. Grâce à notre infrastructure et notre expertise uniques, nous avons ainsi pu analyser dans le détail l'intégrité des cuves de réacteurs. Le BR2 livre depuis plusieurs décennies des performances au plus haut niveau. Pour son successeur, la nouvelle installation de recherche MYRRHA, nos ambitions sont tout aussi élevées. Le programme des prochaines années est d'ores et déjà défini et a pour premier objectif la réalisation de l'accélérateur.

Notre année 2015 peut encore s'ennorgueillir d'autres beaux succès. *Magics instruments*, la nouvelle spin-off de la KU Leuven et du SCK•CEN, est la preuve vivante que de grandes idées scientifiques peuvent donner lieu à des applications essentielles. Grâce à un encadrement adéquat, deux jeunes chercheurs ont réussi à développer des puces jusqu'à mille fois plus résistantes au rayonnement. « Valorisation », un joli terme que nous conjugurons volontiers au présent. Et cette expertise, nous tenons plus que jamais à la mettre au service de la société. Nous soutenons ainsi les autorités nationales et internationales en matière de planification d'urgence nucléaire et travaillons ensemble pour réduire d'éventuels risques chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires. Un échange de connaissances et d'expériences des plus précieux.

2015. Une année terminée en beauté par notre *SCK•CEN Academy for Nuclear Science & Technology*. A peine trois ans après sa création, le nombre de participants à nos formations a presque doublé et nous avons passé le cap du centième doctorant. Un succès incontestable et une garantie pour l'avenir. La science et la technologie font rêver les jeunes et les stimulent à réaliser de grandes choses. Au SCK•CEN, nous en sommes plus que convaincus. Donner l'opportunité aux personnes de se développer et de déployer pleinement leur talent pour l'innovation et la recherche, voilà notre investissement le plus précieux.

Je vous souhaite
une excellente lecture.

Eric van Walle
Directeur général



Stratégie

- 01 Valoriser l'expertise 06
- 02 Repousser les limites 22
- 03 Nourrir l'innovation 42
- 04 Optimaliser les ressources 68



**Valoriser
l'expertise**

01

« Recettes propres en baisse et investissements en hausse »

Une combinaison stimulante dans une période de transition

Un centre d'étude existant depuis 1952 doit évoluer en permanence en s'efforçant de rester fidèle au travail de ses pionniers, auteurs de grandes premières mondiales. Cela signifie qu'il doit investir dans les avancées scientifiques, la sécurisation et l'infrastructure. Ces dernières années, le SCK•CEN a constitué une réserve en vue de soutenir en partie ces investissements. Les négociations avec les pouvoirs publics ont engendré pour ces prochaines années un regain de confiance. Car après une année 2015 où l'aide financière de l'État fédéral a fortement été réduite suite aux économies générales, le SCK•CEN a maintenant obtenu un engagement pour les deux prochaines années dans le cadre d'un plan quadriennal. 2015 et 2016 font figure d'années de transition dans la vie du SCK•CEN.

Interview de
Christian Legrain,
secrétaire-général

Quel est le bilan financier de ces dernières années pour le centre d'étude ?

Christian Legrain : Il est très positif ! Les années 2013 et 2014 ont été exceptionnelles pour nos recettes propres. Le SCK•CEN a complété la subvention de l'État par un chiffre d'affaires supérieur à celui des années précédentes. Cette évolution nous a permis de constituer des réserves financières et de réaliser des investissements qui sont nécessaires pour disposer d'une infrastructure de pointe dans le futur.

Quelles étaient les principales sources de ces recettes propres ?

Christian Legrain : Outre nos propres développements, deux grands projets dans lesquels on nous a demandé de jouer un rôle, se distinguent. Nos collaborateurs ont mené des recherches approfondies pour Doel 3 et Tihange 2, un thème qui a régulièrement fait la une de l'actualité. Grâce à notre réacteur de recherche performant BR2, nous étions en mesure d'irradier des matériaux. Grâce aussi à l'expertise de nos

« Les points forts du SCK•CEN sont notre créativité et la flexibilité de nos collaborateurs. »

collaborateurs et aux possibilités offertes par nos 'laboratoires chauds', et notamment sur la base de calculs théoriques, nous sommes parvenus à prévoir le comportement des cuves des deux réacteurs pour les prochaines dizaines d'années (voir page 52). Il est clair que nous sommes à même, grâce à notre savoir-faire, d'apporter une précieuse contribution dans le domaine des questions nucléaires. Les efforts déployés par nos collaborateurs à ce niveau ont généré un chiffre d'affaires supplémentaire substantiel pour le SCK•CEN.

Nous avons également un projet considérable relatif au développement d'un nouveau radio-isotope en soins palliatifs (voir page 14). Ce projet a très bien tourné pendant quelques années, avant d'arriver à son terme en 2015 - même si une grande firme pharmaceutique a témoigné de l'intérêt pour le poursuivre. Ce projet a généré des revenus exceptionnels pendant trois ans, mais cela ne sera donc plus le cas dans le futur. Ceci démontre encore une fois que le SCK•CEN est capable d'apporter une importante plus-value au monde pharmaceutique grâce à sa connaissance des techniques d'irradiation et de la radiochimie. Cela ne signifie pas que les prochaines années seront également aussi exceptionnelles. Une raison de plus de conserver environ la moitié de nos moyens par le biais de l'aide fournie par l'État fédéral.

Vous dites que les réserves financières qui ont été constituées viendront à point nommé aujourd'hui. Quels investissements figurent au programme ?

Christian Legrain : La tendance des recettes croissantes ne va pas automatiquement se poursuivre, et c'est pourquoi je considère 2015 et 2016 comme des années transitoires. Ces années seront une combinaison de recettes propres inférieures et d'investissements supérieurs. Cette situation sera principalement due à l'arrêt de notre réacteur de recherche BR2 - pour une période de plus de 18 mois (voir page 44) - et à un plan d'investissement ambitieux. Le coût total de la rénovation de BR2 s'élève à 30 millions d'euros, sans compter nos frais de personnel. Il y a également les investissements pour la sécurisation du site et les stress tests. Après plus de soixante ans, nous avons entièrement remis à neuf la station haute tension la plus importante du SCK•CEN. Et si vous venez sur notre site, vous verrez que de nombreux travaux sont en cours. Notre château d'eau a notamment été rénové (voir page 78-83), et la construction d'un tout nouveau bâtiment a été entamée.

Comment l'État fédéral voit-il l'avenir du centre d'étude ? Des accords ont-ils été conclus à ce sujet entre-temps ?

Christian Legrain : Il était en effet nécessaire d'arriver à un accord avec l'État belge. L'État fédéral n'avait pas tenu compte, dans son budget de 2015, du développement du nouveau réacteur de recherche multifonctionnel MYRRHA, avec une enveloppe attendue de 20 millions d'euros. Les frais et investissements de ce programme ont donc été totalement autofinancés. Mais grâce à une concertation constructive, nous avons reçu de l'État en octobre 2015 une vision claire pour la période 2016 à 2019 pour l'ensemble du SCK•CEN, ainsi qu'une dotation distincte de deux ans pour MYRRHA.

Quelle est concrètement cette vision ?

Christian Legrain : Il existe un engagement à trois niveaux. Premièrement, la dotation est conservée en vue de couvrir en partie nos frais de personnel et autres. Deuxièmement, nous aurons une dotation spéciale pour MYRRHA : 20 millions d'euros pour 2016 et 20 millions d'euros pour 2017. Troisièmement, un budget distinct a été réservé pour la sécurisation du site et les stress tests.

Vous parlez d'un budget distinct. La sécurisation du site et les stress tests nécessitent-ils autant d'investissements ?

Christian Legrain : La sécurisation du site, une mesure préventive justifiée par la menace terroriste, coûtera en tout quelque 30 millions d'euros sur une période de cinq à six ans. Un montant de 11 millions d'euros est réservé aux stress tests, une conséquence des mesures prises après l'accident de Fukushima. Le SCK•CEN doit lui aussi satisfaire à de tels stress tests, car ces tests s'appliquent en Belgique non seulement aux centrales nucléaires, mais aussi au centre de recherche et autres installations nucléaires.

Êtes-vous optimiste pour l'avenir ?

Christian Legrain : Le monde change de plus en plus vite et notre capacité à nous adapter revêt une importance essentielle. Dans notre plan stratégique, nous avons fixé les grandes lignes de la politique pour l'avenir et introduit la flexibilité nécessaire pour réagir rapidement aux opportunités que nous offre le marché. Nous avons ces dernières années renforcé nos services d'appui, principalement en vue de valoriser nos connaissances. Nous avons en outre créé deux spin-offs en deux ans (voir page 11). Nous faisons bien entendu en sorte que nos outils de gestion répondent au maximum aux défis de demain et au contrôle de nos activités. Mais nos points forts demeurent principalement notre créativité au sens large et la flexibilité de nos collaborateurs. Oui, je vois l'avenir d'un œil assez positif, à condition que nous continuions à nous efforcer de maintenir au meilleur niveau la recherche, l'innovation et la valorisation.

« Grâce à une concertation constructive, nous avons reçu de l'État fédéral une vision claire de son soutien. »



Magics Instruments : du projet au produit

Des puces mille fois plus résistantes aux rayonnements

Le SCK•CEN accorde régulièrement des facilités d'irradiation aux doctorants dans le cadre de leurs recherches. Tel a été le cas pour une thèse sur la micro-électronique résistante aux rayonnements. La thèse portait sur la conception de connexions ou de puces devant présenter une grande résistance aux rayonnements. Le projet s'est avéré une telle réussite que l'idée est venue de créer réellement des produits. La spin-off Magics Instruments a ainsi vu le jour.

L'idée a germé au SCK•CEN. Le projet visait à effectuer des mesures permanentes dans un champ de rayonnement intense pour le réacteur de fusion futur ITER et pour le réacteur de recherche MYRRHA. Des plans de circuit ont ensuite été dessinés au département d'Electrotechnique (ESAT) de la KU Leuven. Le SCK•CEN a non seulement mis les facilités d'irradiation du réacteur BR2 à disposition, mais a également donné accès à ses vastes connaissances sur les effets des rayonnements sur les matériaux. Les dispositifs permettant de tester ces puces à de très fortes doses de rayons gamma ont été conçus par les chercheurs d'ESAT et réalisés en collaboration avec Ludo Vermeeren et Wouter de Cock de l'unité Recherche en Instrumentation et Contrôle du SCK•CEN.

Wouter De Cock, Recherche en Instrumentation et Contrôle
Vincent Massaut, Business Development & Support



Paul De Keyser et Stefan Tormans,
Business Development & Support



« Nous visons à commercialiser des produits le plus rapidement possible afin de permettre à Magics Instruments de se développer. »

Croissance commerciale

Magics Instruments s'occupe aujourd'hui principalement de projets de recherche contractuels. « Ceci résulte en un nombre réduit de prototypes de puces », explique Paul De Keyser. « Ces projets n'ont qu'un potentiel limité en terme de chiffre d'affaires. Nous visons dès lors à commercialiser des produits le plus vite possible afin de permettre à l'entreprise de se développer. Magics Instruments souhaite également grimper dans la chaîne de valeur et évoluer de la vente de composants électroniques vers la vente de modules de mesure intégrés. »

Magics Instruments souhaite encore se développer à moyen terme en commercialisant des solutions totales pour des applications nucléaires spécifiques, notamment dans le domaine du démantèlement et de la gestion des déchets. « Le SCK•CEN souhaite pleinement y contribuer. Vincent Massaut, notre directeur adjoint Business Development & Support, fait ainsi partie du conseil d'administration de Magics Instruments. Sa vaste expérience du démantèlement d'installations nucléaires, notamment de l'ancien réacteur de recherche BR3, et ses activités de recherche dans le domaine de la fusion, où de tels capteurs deviendront utiles, peuvent être très précieuses. Vincent Massaut et d'autres collaborateurs du centre d'étude mettront leurs connaissances techniques et leur réseau mondial à disposition pour faire de Magics Instruments une success story. »

Stefan Tormans, juriste au SCK•CEN, a été étroitement impliqué dans la constitution de la société : « Avec autant de parties et d'intérêts différents, il est indispensable de parvenir à un accord équilibré. Certaines parties ont apporté des espèces, d'autres également des éléments non monétaires tels que la propriété intellectuelle. Nous avons commencé par établir une *term sheet* : une synthèse succincte des principaux accords. Ont suivi toute une série de documents et d'accords précis concrets, tels qu'un pacte d'actionnaires avec notamment la répartition des actions, les statuts de la nouvelle société, des contrats de gestion et un accord de transfert de technologie. »

L'intense processus de préparation de la constitution a duré neuf mois et généré un dossier de plusieurs centaines de pages. Stefan Tormans : « Après le feu vert du conseil d'administration, nous nous sommes rendus chez le notaire le 28 octobre 2015. La société anonyme Magics Instruments était née. La création de cette spin-off n'est toutefois qu'une première étape. Les développeurs doivent maintenant évoluer du statut de scientifique vers celui d'entrepreneur. »

Nouveaux domaines d'application

Une amélioration à ce point impressionnante de la résistance aux rayonnements ouvre la voie à de tout nouveaux domaines d'application présentant un rayonnement très élevé ou de longue durée. Paul De Keyser : « Je pense spontanément au démantèlement d'anciennes centrales nucléaires ou d'anciens réacteurs de recherche nucléaires, une discipline dans laquelle le SCK•CEN peut se targuer d'une grande expertise. Des applications sont également possibles dans le domaine de l'enfouissement de déchets radioactifs. Les interventions en cas d'accidents tels que celui qui s'est produit à Fukushima, où le SCK•CEN a déjà mis ses connaissances à disposition, sont plus délicates. Là, les niveaux de radiation sont extrêmement élevés et il faut donc avoir des robots capables de résister à ces rayonnements. Une grande résistance aux rayonnements constitue également un atout pour les systèmes de mesure dans ou à proximité de réacteurs de fission ou de fusion, notamment pour les mises à niveaux de sûreté. »

De scientifique à entrepreneur

Le développement d'une puce dotée d'une résistance élevée aux rayonnements offre des perspectives commerciales. Différentes parties se sont rassemblées autour de ce projet : des développeurs, des professeurs d'ESAT, la KU Leuven, le LRD (KU Leuven Research & Development), le Fonds Gemma Frisius et le SCK•CEN. La collaboration a débouché sur une société anonyme baptisée *Magics Instruments*.

Mille fois plus résistantes

Paul De Keyser, SCK•CEN Business Development Advisor, a suivi le projet de près. « Les unités de quantité de rayonnement ionisant absorbé sont exprimées en rad et en gray. Les puces ultramodernes actuelles résistantes aux rayonnements peuvent normalement supporter quelque 10 000 grays, ce qui est suffisant pour des missions spatiales, par exemple. Mais les recherches ont démontré que des doses de 5 millions de grays et plus, sont possibles. Grâce à notre approche innovante, nous avons développé une puce offrant mille fois plus de résistance que les composants spatiaux actuels. Ce résultat, nous le devons à dix ans de recherche sur un grand nombre de mesures rendant la micro-électronique très résistante aux rayonnements. »

Un radio-isotope précieux pour le traitement du cancer

ACPIL, un projet stimulant soumis à des conditions strictes

Une entreprise du secteur médical cherchait de l'actinium-227 pour le développement d'un médicament prometteur. Le processus de décroissance de ce radio-isotope débouche sur le radium-223, un produit très utile dans la prévention et le traitement du cancer. Le SCK•CEN possédait une réserve d'actinium propre et a proposé ses services. Frédéric Jutier et Patrick Lycke, du groupe d'expertise Radiochimie, ont été étroitement impliqués dans ce projet important baptisé 'ACPIL'.



Frédéric Jutier,
Radiochimie

À la fin des années 1960, le SCK•CEN produisait de l'actinium-227 (Ac-227), l'isotope radioactif le plus stable de l'actinium. L'Ac-227 possède des propriétés nucléaires favorables pour une utilisation comme source d'énergie dans le domaine de la navigation spatiale. Frédéric Jutier donne un aperçu du contexte : « Plusieurs pays avaient à l'époque un vaste programme spatial. L'Ac-227 était considéré comme une

source radioactive optimale pour pourvoir les vaisseaux spatiaux en énergie et le SCK•CEN produisait cet élément en irradiant le matériau brut radium-226 (Ra-226) dans le réacteur BR2. Ce matériau provenait à l'époque du radium pur de l'entreprise d'extraction Union Minière, qui porte aujourd'hui le nom d'Umicore. La Belgique jouait à ce moment déjà un rôle dans le développement d'applications dans le domaine de la navigation spatiale. Hélas, le coût de production et de développement technologique d'une source d'énergie à base d'Ac-227 était trop élevé, ce qui a contraint le SCK•CEN à arrêter sa production en 1976. »

Une réserve limitée mais stratégique

Depuis l'arrêt de ce projet, le centre d'étude possédait encore une réserve limitée d'Ac-227 purifié. « En termes de poids, la quantité était vraiment limitée », précise Patrick Lycke. « Il était impossible de le distinguer l'actinium à l'œil nu. Mais le taux de radioactivité était toutefois très important. Cette réserve d'Ac-227 était stockée ici depuis plusieurs décennies, jusqu'à ce qu'une demande ne voit le jour : le stock d'Ac-227 détenu par le SCK•CEN avait attiré l'attention d'une entreprise médicale. »

L'entreprise en question possède un vaste savoir-faire dans le domaine des traitements du cancer au radium-223 (Ra-223). « Tant les éléments radium que calcium sont des métaux du groupe II et ont des propriétés comparables et des analogies chimiques », explique Frédéric Jutier. « Le radium est de ce fait assimilé par le corps humain de la même manière que le calcium, et se concentre sur le tissu osseux. L'entreprise a développé une méthode visant à détruire de manière sélective, à l'aide de l'isotope radioactif Ra-223, les métastases osseuses chez les patients atteints d'un cancer de la prostate résistant à la castration.

L'action de Ra-223 est très spécifique. « La décroissance du Ra-223 résulte dans l'émission de particules alpha d'une énergie entre 5 et 6 MeV. Les particules alpha émises ont un transfert d'énergie linéique élevé : elles perdent beaucoup d'énergie au profit de la matière qu'elles traversent, ce qui limite leur portée. C'est précisément cette action qui permet de détruire les cellules cancéreuses et en même temps qui minimise l'atteinte aux tissus sains autour de la métastase. »

Extrêmement concentré

Comment obtient-on du Ra-223 ? « Grâce au processus de décroissance de l'Ac-227. L'offre d'Ac-227 revêtait donc une importance cruciale pour notre client afin de lui permettre d'évaluer le médicament par le biais de tests cliniques. »

« La radioactivité des sources d'Ac-227 du SCK•CEN était trop élevée pour qu'elles puissent être transportées vers l'entreprise médicale et traitées », précise Patrick Lycke. « Un conteneur de transport approprié n'était pas disponible et notre client ne disposait pas d'un établissement capable de traiter des taux de radioactivité aussi élevés. Nous avons donc lancé au sein du SCK•CEN le projet ACPIL (ACTinium reconditioning PILot) afin de subdiviser les sources d'Ac-227 en lots plus petits. »



Patrick Lycke,
Radiochimie

« Notre client avait placé la barre très haut. Nous attendons un autre défi de ce type avec impatience ! »

Les sources ont d'abord été amenées vers une nouvelle cellule chaude, un environnement sécurisé où est réalisée la manipulation de sources hautement radioactives par télécommande. Patrick Lycke a dû travailler avec énormément de concentration : « La source d'Ac-227 était conditionnée dans un petit boulon, on ne voyait quasi pas l'élément à l'œil nu. Nous avons dissous l'Ac-227 dans un environnement acide et réparti cette solution dans vingt petites capsules. Il s'agissait là d'une opération très onéreuse. Si on laissait échapper une goutte, une somme de la valeur d'une voiture de luxe s'envolait ! C'est pourquoi l'entièreté du processus a été enregistrée à l'aide d'une caméra. »

Tout a parfaitement réussi : « Nous avons minutieusement réparti la quantité dans vingt capsules étanches, que nous avons ensuite placées par deux dans un conteneur de transport approprié. Les capsules ont été transportées sous haute protection. Notre client était en mesure de traiter la quantité d'un conteneur. Grâce à la décroissance lente de la radioactivité, il peut à présent utiliser et réutiliser pendant des années l'Ac-227 à des fins radiothérapeutiques.

Nouveaux projets en vue ?

Avec le projet ACPIL, le SCK•CEN a tenu son engagement consistant à fournir à une entreprise médicale une matière première absolument nécessaire au développement et aux tests cliniques d'un médicament prometteur. Frédéric Jutier et Patrick Lycke sont satisfaits de la collaboration interdisciplinaire : « C'était merveilleux de collaborer avec plusieurs groupes au sein du SCK•CEN : nous avons pu compter sur nos collègues pour les analyses radiochimiques, les études de sûreté et le soutien technique, entre autres. Notre client avait placé la barre très haut en imposant des exigences strictes et un délai très court. Nous attendons un autre défi de ce type avec impatience ! »



FAISCEAU DE TUBES DE 350 MÈTRES

Un autre tour de force a également été réalisé à cette occasion. Lors du traitement des sources d'Ac-227, il se produit une émanation du gaz radioactif radon-219 (Rn-219), un gaz rare. Cet isotope a fort heureusement une période radioactive très courte, à savoir 4 secondes, de sorte que le Rn-219 disparaît après moins d'une minute. Mais tout le radon devait avoir disparu avant de s'échapper par la cheminée de la ventilation de la cellule chaude. Afin de résoudre ce problème, un *Radon Delay System* (RDS) a été construit dans deux conteneurs maritimes étanches placés l'un sur l'autre : un système interminable de tubes et de filtres. Il contenait notamment une boucle retard de 350 mètres de tubes en plastique visant à ralentir le rejet de Rn-219 et à faire disparaître la radioactivité. Des filtres supplémentaires recueillaient lesdites filles du Rn-219. Le système a été incorporé entre la cellule chaude et la cheminée de la ventilation centrale. Tout fonctionnait parfaitement : aucune radioactivité digne d'être mentionnée n'a été mesurée dans la cheminée.



Reconnaissance de l'AIEA en matière d'efforts éducatifs

Collaboration triennale avec la SCK•CEN Academy

Les efforts déployés par le SCK•CEN pour partager ses connaissances avec le monde extérieur, sont fort appréciés. Ce n'est pas par hasard si l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) a signé en 2015 un Practical Arrangement visant une collaboration dans le domaine de la formation théorique et pratique d'étudiants et de professionnels du nucléaire.

L'Academy a pour but de maintenir et d'élargir les connaissances et les compétences dans le domaine nucléaire par le biais de l'enseignement et de la formation. Elle offre des opportunités aux bacheliers et étudiants en master, doctorants et post-doctorants, et assure la formation continue de professionnels qui, dans le cadre de leur emploi, sont confrontés de près ou de loin aux rayonnements ionisants.

Les experts du SCK•CEN partagent régulièrement leurs connaissances scientifiques et technologiques avec des tiers et ce, aussi bien au niveau national qu'international. Un grand nombre de pays émergents qui se lancent dans les applications nucléaires font ainsi appel à nos spécialistes. Toutes ces activités de formation sont centralisées dans la *SCK•CEN Academy for Nuclear Science and Technology*.

Élargissement du réseau

Les activités de la SCK•CEN Academy ont attiré l'attention de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), ce qui a débouché sur un *Practical Arrangement* signé lors d'un congrès international à Vienne. Le but de cet accord est d'élargir la participation du SCK•CEN à des projets de recherche et de formation de l'AIEA.



Eric van Walle, directeur général du SCK•CEN, Mikhail Chudakov, directeur général adjoint de l'AIEA et responsable du département Énergie nucléaire, signent l'accord.

« Cet accord avec l'AIEA est pour nous une reconnaissance officielle de l'expertise dont nous disposons en interne. »



Ce *Practical Arrangement* constitue pour le SCK•CEN une reconnaissance officielle de l'expertise dont il dispose en interne. Grâce à cet accord, il est également possible de multiplier des contacts avec divers pays et entreprises ; des contacts susceptibles de mener à une collaboration dans le domaine de la consultance, de la formation et de la recherche scientifique.

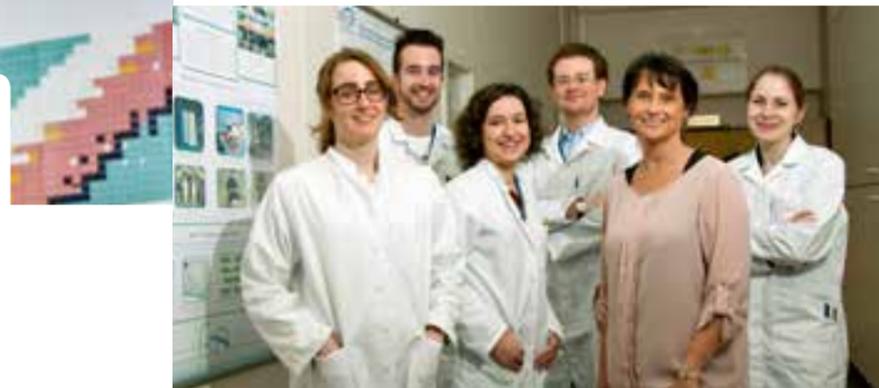
Projets concrets

Dans la pratique, la SCK•CEN Academy for Nuclear Science and Technology est chargée de la coordination et de la réalisation de différentes activités. Nos spécialistes participeront à des missions d'experts en vue d'évaluer les demandes de pays qui sollicitent le soutien de l'AIEA et collaboreront à des projets concernant la gestion des connaissances nucléaires et la formation théorique et pratique dans le domaine nucléaire. Il y aura également un échange et une diffusion plus importants des connaissances et des informations avec les pays qui se sont récemment lancés dans l'énergie nucléaire ou qui ont l'intention de le faire dans le futur.

Dans l'intervalle, la SCK•CEN Academy poursuit les accords de coopération en cours avec l'AIEA, par exemple sa participation à un comité directeur concernant la formation théorique et pratique dans le domaine de la protection radiologique, du transport et de la sûreté des déchets.

Motiver les étudiants

Une nouvelle initiative est le *Co-ordinated Research Project* (CRP), qui vise à initier les jeunes étudiants prometteurs à des thèmes liés au programme STEM (science, technologie, ingénierie et mathématiques). La SCK•CEN Academy for Nuclear Science and Technology était déjà active dans ce domaine et a maintenant l'opportunité d'échanger des expériences avec plusieurs membres de l'AIEA.



CENTIÈME DOCTORAT

Le SCK•CEN a développé depuis 1992 une étroite collaboration avec diverses universités en vue de donner à des doctorants l'opportunité de réaliser leurs recherches dans ses installations et laboratoires nucléaires. Dans un premier temps, entre 5 et 8 étudiants par an profitaient de cette offre. Dès 2006, le nombre d'étudiants a pris de l'ampleur. Le centre d'étude accueille aujourd'hui entre 12 et 20 nouveaux doctorants par an, avec un pic de 21 en 2015.

Cet afflux constant de doctorants a débouché sur le centième doctorat en collaboration avec le SCK•CEN. Cet événement a été célébré le 21 décembre 2015 en présence de tous les doctorants et de leurs promoteurs et mentors. Le SCK•CEN a lancé à cette même occasion son réseau *Alumni* destiné à réunir tous ceux qui ont fréquenté le centre d'étude pendant quelques semaines, quelques mois ou quelques années, et à faciliter le réseautage au sein de ce groupe. Ce groupe-cible sera davantage impliqué dans la recherche dans le futur.

La jeunesse, notre avenir

Le cap des cent doctorats défendus avec succès a été franchi ! Un tournant dans l'histoire du SCK•CEN et un symbole du rajeunissement que connaît notre entreprise depuis deux décennies. De nouvelles idées, des superviseurs et des promoteurs motivés, des cultures différentes, de nombreux projets... une vraie dynamique ! L'intérêt manifesté par les écoles, les universités, les étudiants et les stagiaires nous apporte un sang neuf revivifiant et constitue la garantie de notre avenir.

Frank Hardeman

Directeur général adjoint



Le plus grand exercice de plan d'urgence nucléaire en Belgique

Résultat de deux années de préparation

Comment tester les procédures décrites dans les plans d'urgence et d'intervention ? En les mettant effectivement en application. C'est la raison pour laquelle un grand exercice de plan d'urgence simulant un incident nucléaire a eu lieu dans la région de Mol et de Dessel les 29 et 30 octobre 2015. Les autorités, Belgoprocess et le SCK•CEN avaient tout préparé minutieusement.

Le SCK•CEN doit organiser tous les deux ans un exercice de plan d'urgence nucléaire. Philippe Antoine, coordinateur de l'opération pour le centre d'étude, donne un aperçu de ces deux jours d'exercice.

Test de communication

« Le premier jour, l'accent était mis sur la phase aigüe. La coordination a été assurée par le Centre gouvernemental de coordination et de crise (CGCCR) à Bruxelles, en concertation avec le Comité de coordination provincial intégré. Ce comité, qui compte notamment des représentants des services d'intervention et des communes, s'est réuni au centre de crise à Dessel. Un plan d'urgence

nucléaire est très différent d'un plan relatif à des incidents dans d'autres secteurs. C'est pourquoi la coordination est aux mains des autorités fédérales. Des informations ont été envoyées vers le centre de crise à Bruxelles depuis le bureau du plan d'urgence du SCK•CEN. L'occasion idéale de tester la communication au moyen du nouveau système de vidéoconférence, avec un résultat très positif. Tout a été évalué en profondeur par la suite. »

Un groupe important d'étudiants du Heilig Graf Instituut à Turnhout et de l'Artesis Hogeschool Antwerpen a également participé à l'exercice. Ces étudiants ont simulé les réactions de la population et des médias via une plateforme de médias sociaux fermée.



Mobilisation de tous les travailleurs

Les collaborateurs ont été impliqués de manière concrète dans l'exercice: « Les membres du personnel jouant un rôle dans l'organisation du plan d'urgence ont été mobilisés via ledit 'Site Emergency'. Il y avait également une 'General Emergency', faisant retentir les sirènes du site. Tous les collaborateurs devaient se rassembler dans le bâtiment où ils se trouvaient et ne pouvaient pas le quitter ; un bon test pour la communication entre le bureau du plan d'urgence et les différents bâtiments. Afin de ne pas inquiéter inutilement la population, le réseau de sirènes de l'Intérieur a été activé de manière silencieuse.

Évaluation de la situation

La cellule d'évaluation et la cellule de mesure du CGCCR ont été actives durant les deux jours pour collecter et analyser des données radiologiques. « Elles devaient évaluer la situation technique et définir l'impact », affirme Philippe Antoine. « Des mesures ont été effectuées dans les environs à l'aide de véhicules du SCK•CEN, de la Protection civile, de l'Institut de Radioéléments (IRE) et de l'armée. Nous devons également tenir compte de la direction du vent pour mesurer les retombées radioactives. Il s'agissait de collecter les données de mesure de toutes les équipes et de les interpréter de manière correcte. » Le deuxième jour, l'accent était mis sur le rétablissement, le retour vers une situation normalisée. Cette partie de l'exercice s'est déroulée sous la forme d'un workshop au CGCCR.

RENFORCEMENT DE L'ÉQUIPE DE MESURE

Le SCK•CEN dispose d'une équipe de mesure propre qui, après un incident nucléaire, peut être appelée sur place pour effectuer des mesures. Six à sept personnes sont nécessaires pour une intervention : au moins deux pour les échantillonnages, deux pour la préparation des échantillons et deux pour les mesures. L'équipe a été renforcée en 2015. Suite à un appel, vingt candidats opérateurs se sont présentés. Ils ont suivi une formation théorique et pratique, notamment sur les appareils de mesure, les équipements de protection individuelle et la communication. Après quoi, ils ont pu aller sur le terrain accompagné d'un collègue expérimenté.

Mesures à bord d'un hélicoptère

Le deuxième jour de l'exercice, Johan Paridaens du service *Contrôle physique* est monté à bord d'un hélicoptère pour mesurer la contamination : « Beaucoup de gens me demandent pourquoi on ne peut pas faire cela directement après un incident. La réponse est simple : on ne peut pas effectuer de mesures si la radioactivité est encore dans l'air, car dans ce cas l'hélicoptère est lui aussi contaminé. On ne peut mesurer la contamination que lorsqu'il y a eu dépôt, la radioactivité doit être retombée au sol. Il faut bien entendu utiliser des appareils ayant une sensibilité de détection élevée et une courte durée de mesure. On peut ainsi mesurer des zones de contamination étendues. Nous utilisons la spectrométrie gamma par voie aérienne (Aerial Gamma Spectrometry, AGS). Cette technique est sans risque pour les pilotes et les passagers qui volent au-dessus d'une zone contaminée. Ce système est utile pour effectuer des mesures après un incident nucléaire, mais aussi pour mesurer le taux de radioactivité de contaminations antérieures. »

Un hélicoptère Agusta se tenait prêt sur la base aérienne de Beauvechain. « Grâce à un accord entre les ministères de l'Intérieur et de la Défense, l'armée met un ou plusieurs hélicoptères à disposition pour les plans d'urgence. Nous avons volé jusqu'à Mol et avons effectué en cours de route des mesures réelles sur un site présentant une contamination historique. Nous y avons inspecté la zone à 100 mètres d'altitude. Nos détecteurs sont capables de collecter en quelques secondes suffisamment de données statistiques pour quantifier la contamination. Les résultats étaient identiques à ceux des mesures que j'avais prises sur place à pied quelque temps auparavant. »



Repousser
les limites

02

« Mesure intelligente des radiations après un incident »

Composants électroniques et GSM comme dosimètres

En cas d'incident radiologique, les personnes qui se trouvent à proximité sont susceptibles d'être soumises à des doses de radiation importantes. Il importe de connaître la quantité précise d'exposition, afin de traiter ou de rassurer les victimes. Mais comment déterminer rétrospectivement ces doses si personne n'a un dosimètre spécialisé sur lui ? Et dans quelle mesure les applis pour smartphone sont-elles utiles pour mesurer l'irradiation ? Filip Vanhavere et Olivier Van Hoey nous donnent un aperçu de l'utilisation de GSM et de smartphones en tant que dosimètres et détecteurs en temps réel.

Quels matériaux conviennent en tant que dosimètres fortuits ? Et comment mesure-t-on la dose de radiation reçue ?

Filip Vanhavere : Les composants sensibles aux radiations peuvent servir de dosimètre de fortune pour effectuer des mesures rétrospectives, c'est-à-dire pour déterminer ultérieurement la dose de radiation reçue. Prenez un GSM ou un smartphone : les résistances du circuit électronique, la face arrière de la puce dans la carte SIM et le verre de l'écran conviennent parfaitement. Lorsque ces composants sont chauffés ou éclairés après une irradiation, les électrons contenus dans le matériau 'grimpe' à un niveau d'énergie supérieur. Ils 'retombent' ensuite au niveau d'énergie le plus bas et une luminescence se dégage. Ce phénomène peut être mesuré à l'aide d'équipements spécialisés. La quantité de lumière émise équivaut en bonne partie à la dose de radiation. Cette technique permet de mesurer la dose reçue sur toute une période.



Filip Vanhavere, Dosimétrie et Calibrage

Plus de radiations, plus de lumière émise

La luminescence qui apparaît sous l'influence des radiations s'observe non seulement dans les GSM ou les smartphones, mais aussi dans des objets de consommation courants.

Filip Vanhavere : En effet, les propriétés luminescentes s'observent dans une plus ou moins grande mesure dans toutes sortes de composants électroniques, mais aussi dans la poussière, les semelles de chaussures, les vêtements, la céramique, le sable... Plus ces composants ont absorbé de radiations, plus la lumière émise est puissante lorsqu'ils sont chauffés ou éclairés par la suite. Nous avons caractérisé en détail ces dernières années plusieurs composants qui pourraient fonctionner comme dosimètre de fortune. Des propriétés importantes à cet égard sont la dose détectable minimale, la diminution du signal dans le temps, les relations entre la dose et le signal, la reproductibilité et les changements de sensibilité.

Peut-on mesurer l'irradiation de dosimètres sur place ou cela n'est-il possible qu'au sein du SCK·CEN ?

Olivier Van Hoey : L'examen sur la base de la luminescence ne peut se faire qu'au sein de laboratoires spécialisés tel que celui que nous avons au SCK·CEN. Vous devrez donc peut-être nous donner votre carte de banque car nous avons besoin de la puce qu'elle contient pour mesurer la dose de radiation. J'admets que cela n'est pas très pratique. Mais nous pourrions aussi utiliser votre email dentaire. Et dans ce cas, vous serez obligé de nous remettre une dent. Mieux vaut éviter cela ! (Rires)



Simulation d'un accident en Bolivie

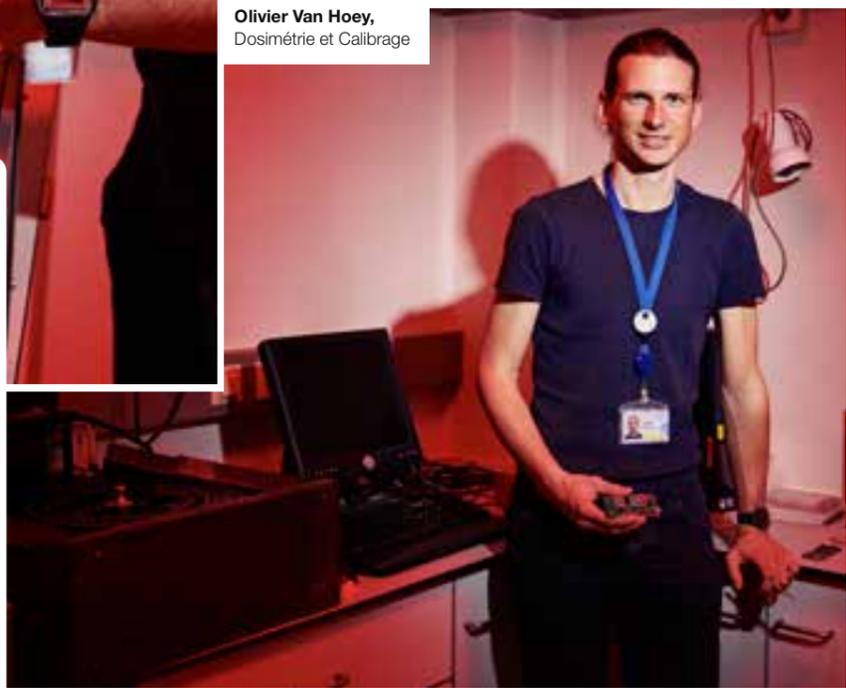
Un accident impliquant une source d'iridium radioactif servant à l'inspection de pipelines s'est produit dans un bus transportant des passagers en Bolivie en 2002. Vous avez aujourd'hui reconstitué cet accident en collaboration avec plusieurs laboratoires. Pourquoi ?

Filip Vanhavere : La reconstitution de cet accident sert de test réaliste pour la dosimétrie rétrospective. Il s'agissait ici de la recherche en soi : des mannequins ont été pourvus de dosimètres spécialisés de fortune tels que des GSM. Nous avons ainsi pu comparer des vrais dosimètres et des dosimètres de fortune. Les doses de radiation absorbées dans différentes parties du corps ont également été simulées à l'aide d'un code informatique basé sur la méthode de Monte-Carlo.

« Nous avons caractérisé en détail plusieurs matériaux pouvant servir de dosimètre de fortune. »



Olivier Van Hoey,
Dosimétrie et Calibrage



Qu'a démontré la simulation de l'incident avec le bus ?

Filip Vanhavere : Nous avons constaté que les résistances dans les GSM, principalement, sont utiles pour reconstituer la dose absorbée. D'autres matériaux s'avèrent également utiles : même les semelles de chaussures et la poussière permettent de faire une estimation approximative. La principale incertitude au niveau des résultats se situe au niveau de l'inhomogénéité spatiale du champ de rayonnement. Il y avait ainsi une différence entre les personnes qui portaient leur GSM à droite et celles qui le portaient à gauche. Ces détails sont importants si l'on veut avoir un bon aperçu global de la situation, mais souvent les gens ne s'en souviennent pas. C'est pourquoi il faut toujours utiliser le plus possible de dosimètres de fortune différents. On a ainsi un aperçu le plus complet possible qui permet de faire une estimation de la dose absorbée la plus précise possible.

Vous collaborez, au sein d'Eurados (European Radiation Dosimetry Group), avec des laboratoires d'un grand nombre de pays. Comparez-vous les résultats entre ces labos ?

Olivier Van Hoey : Absolument. Nous avons ainsi participé fin novembre 2015 dans le cadre d'Eurados à une comparaison inter-laboratoires. Plusieurs laboratoires ont reçu des GSM dont la dose de radiation était inconnue des participants. Le but était de reconstituer la dose de radiation absorbée sur la base de la luminescence émise par l'écran en verre de ces GSM. Ces recherches, ainsi que d'autres, montrent que les différences constatées ne sont pas très grandes.

Des applis pour mesurer l'irradiation

Une dizaine d'applis pour smartphone, permettant de mesurer l'irradiation, sont entre-temps disponibles. Elles ne sont pas toutes aussi fiables. Comment induire des résultats fiables de telles mesures ?

Olivier Van Hoey : Ces applis mesurent l'irradiation à l'aide de la caméra du smartphone, qu'il faut d'abord recouvrir de ruban adhésif noir. Elles ont été conçues pour mesurer l'irradiation à un moment donné. Pour certaines applications, il est possible de publier les données en ligne. Si on regroupait ces données sur une carte et qu'on les analysait, on aurait un bon aperçu du niveau d'irradiation dans une zone définie. Les données individuelles ne sont en soi peut-être pas assez précises car le temps de mesure est trop court. En combinant les résultats de mesure, on peut faire une estimation assez correcte du niveau d'irradiation.

N'est-il pas préférable que de telles mesures soient effectuées par les équipes de mesure du SCK·CEN ?

Filip Vanhavere : Ces équipes sont bien entendu utiles pour des mesures spécifiques et locales, mais leur nombre ne suffit pas pour effectuer une mesure complète dans une zone étendue, comme toute la Belgique, par exemple. Supposons que l'on dispose alors d'un réseau de personnes effectuant des mesures dans tout le pays. On peut dans ce cas leur demander de mesurer pendant dix minutes au moyen de leur GSM, avant de collecter et de traiter toutes les données en une demi-journée... La population se rend ainsi elle-même un immense service.

Partager les connaissances en vue de réduire les risques

Vers une situation CBRN plus sûre dans le monde

Comment, en Europe et en dehors, réduire les risques chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires (CBRN) et garder les conséquences d'incidents sous contrôle ? C'est ce que se demande la Commission européenne dans le cadre de sa politique en matière de paix et de sécurité. Le SCK·CEN contribue également à ce projet de sensibilisation à l'intérieur et à l'extérieur de l'Union européenne.

La Commission a créé l' *Instrument contributing to Stability and Peace* (IcSP) en vue de renforcer la stabilité et la paix au sein de l'Union européenne et, de façon plus générale, dans le monde. L'IcSP soutient notamment les Centres d'Excellence CBRN, une initiative visant à prévenir les incidents CBRN ou à en réduire les conséquences. Plusieurs collaborateurs scientifiques du SCK·CEN sont impliqués dans ces projets européens au niveau de la sécurité et de la planification d'urgence nucléaire. Nous nous sommes entretenus avec Klaas van der Meer, Carlos Rojas Palma et Matej Gedeon.

Manuel, procédures et formations

Les autorités et les entreprises de nombreux pays ont besoin de connaissances sur la façon dont elles doivent gérer les conséquences d'incidents CBRN. « C'est pourquoi nous avons rédigé un manuel sur l'approche des sources radioactives dans les cas de terrorisme, » affirme Carlos Rojas Palma. « Nous avons également établi des procédures de gestion de crise basées sur des connaissances CBRN approfondies. Ce manuel regroupe des informations techniques et opérationnelles pour un groupe cible étendu, qui va de la Commission européenne aux utilisateurs finaux en passant par les entreprises. »

Mais notre intervention ne se limite pas à la rédaction d'un manuel et de procédures. Carlos : « Nous voulons donner dans les 28 États membres de l'Union européenne des formations à la police, aux services de secours et aux équipes d'intervention. Ces formations seront organisées conjointement avec l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire, le centre de formation multidisciplinaire en matière de sécurité Campus Vesta, l'hôpital universitaire de Gand



Carlos Rojas Palma,
Gestion de Crise et Aide à la Décision



Klaas Van der Meer,
Appui à la Politique et à la Société



Nos connaissances sont les bienvenues, car il existe souvent de grands parallèles entre l'approche d'incidents nucléaires et celle d'incidents chimiques, par exemple. »

Liban, Afrique du Nord et Europe de l'Est

Klaas van der Meer en dit plus sur quelques projets internationaux : « Au Liban, le SCK•CEN a établi un plan national d'intervention CBRN. Il existe à présent des procédures opérationnelles standard (POS) et une liste du matériel nécessaire pour une intervention de premiers secours. À la demande d'officiers libanais, nous avons également effectué un calcul de dispersion pour un éventuel accident dans le réacteur israélien de Dimona. »

En Afrique, le SCK•CEN a effectué un travail similaire pour la Protection civile marocaine, mais c'est surtout en Afrique de l'Est et centrale que l'équipe joue un rôle éducatif important : « Les organisations de premiers secours souffrent d'un manque cruel de



et le Service public fédéral Santé publique, de qui nous avons reçu une grande distinction pour le contenu de notre formation. L'intérêt pour cette initiative est très important. »

Une base pour une meilleure législation

Le SCK•CEN collabore également avec des partenaires internationaux dans le cadre des Centres d'Excellence CBRN en vue de rendre les frontières extérieures de l'Europe plus stables et moins vulnérables aux incidents CBRN. Klaas van der Meer : « Un grand nombre de pays n'ont quasi aucune législation en ce qui concerne les CBRN. Nous leur indiquons comment adapter la loi pour lutter contre l'utilisation impropre de matériaux CBRN et pouvoir poursuivre en justice l'utilisation criminelle et irresponsable de ces substances. »

D'un point de vue plus pratique, les spécialistes du SCK•CEN forment les collaborateurs d'organisations de premiers secours pour pouvoir réagir aux incidents CBRN de manière plus optimale, rapide et efficace. « Nous apprenons aux gens comment se protéger, mesurer les radiations et réagir au mieux à un incident.

« Nous apprenons aux gens comment se protéger, mesurer les radiations et réagir au mieux à un incident. »

connaissances sur la manière dont elles doivent réagir aux incidents chimiques et radiologiques. La population ne sait souvent pas non plus ce qu'elle doit faire. C'est la raison pour laquelle nous organisons des campagnes de sensibilisation autour des usines chimiques, car les gens ne savent souvent pas que fuir n'est pas la réaction la plus indiquée en cas d'incident CBRN. »

Le SCK•CEN dirige également un projet important dans les Balkans et la région de la mer Noire. Matej Gedeon explique : « Nous aidons à améliorer la législation et les procédures dans plusieurs pays. Nous organiserons également des exercices pour former des équipes multidisciplinaires. Nous disposons de l'expérience requise : dans le cadre de risques radiologiques, nous avons organisé en 2015 un exercice sur le terrain à Mol pour une douzaine de secouristes venant notamment de Slovénie, de Roumanie et d'Estonie. Lors d'une telle formation, nous faisons des simulations et examinons comment les membres de l'équipe réagissent à un incident, nous leur laissons tester l'appareillage et leur montrons la meilleure façon de communiquer. Les pays d'Europe de l'Est sont moins touchés par le terrorisme CBRN qu'auparavant, mais les incidents liés à des usines obsolètes ou à des hôpitaux désaffectés sont plus nombreux. »

Du pain sur la planche

La Commission européenne a établi pour les projets CBRN un planning jusqu'en 2020. Au cours des deux prochaines années, nos spécialistes donneront encore de nombreuses formations et organiseront des exercices concrets : « Plusieurs organisations de premiers secours seront équipées de matériel de secours moderne. Nous espérons ainsi contribuer à une situation CBRN plus sûre dans les pays qui entourent l'Union européenne. »

Réponse

aux défis sociétaux en dehors du secteur nucléaire

Le SCK•CEN jouit d'une reconnaissance internationale dans le domaine de la radioprotection, des applications médicales, des déchets et du démantèlement d'installations. Tout ceci en intégrant de façon unique les sciences humaines et sociales. Nous mettons également notre expertise au service de défis sociétaux en dehors du secteur nucléaire : préparation de plan d'urgence, recherche sur le vieillissement du béton, projets sur la faisabilité de missions de longue durée dans l'espace, etc. Nous sommes actifs sur de multiples terrains et l'intérêt de la collectivité se trouve toujours au cœur de nos préoccupations.

Hildegarde Vandenhove

Directeur de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité



Démantèlement réussi d'installations sodium

Davantage de place pour de nouvelles applications

Au début des années '70, des chercheurs du SCK•CEN ont conçu un certain nombre de circuits expérimentaux pour tester le comportement du sodium en tant que fluide de refroidissement pour les réacteurs rapides. Ces installations ont été définitivement mises à l'arrêt après dix ans. Elles ont depuis lors été conservées sous atmosphère inerte. Jusqu'au jour où l'unité Procédés de Décontamination et Assainissement a été chargée de leur démantèlement. Il s'agissait, avec un élément chimique potentiellement dangereux, d'un véritable saut dans l'inconnu.

« Les minutieuses préparations et l'intense collaboration avec divers services à l'intérieur et à l'extérieur du SCK•CEN ont mené à une exécution sûre et rapide selon le calendrier prévu. »



L'assainissement et le démantèlement de l'infrastructure ayant servi aux expériences menées avec du sodium devait non seulement faire de la place, mais aussi éliminer un risque pour l'environnement et la sécurité, formé par la présence de 8 tonnes de sodium sur le site du SCK•CEN. L'inventaire contenait du sodium, mais aussi du NaK, un alliage de sodium et de potassium qui a la particularité d'être liquide à température ambiante et encore plus réactif que le sodium.

Toutes les installations sodium se trouvaient dans le bâtiment Technologie : des objets mobiles, des petites installations, un circuit pilote (ASL1) et un circuit semi-industriel (Na-3) qui, après les essais, se trouvaient 'contaminés' au sodium non radioactif ou au NaK. Sans compter le danger d'explosion lorsque le sodium entre en contact avec l'eau ou l'air humide. C'est pourquoi les deux circuits étaient placés sous atmosphère d'argon, le sodium restant ainsi en permanence à l'abri de l'air. L'équipe a également travaillé le plus possible sous atmosphère inerte lors des opérations de nettoyage et de démantèlement.

Vers plus de connaissances

Le SCK·CEN ayant mis un terme aux expériences menées avec du sodium au début des années '80, les connaissances pratiques faisaient défaut aux gestionnaires de projet actuels, aussi bien pour le démantèlement des installations que pour la manipulation du sodium. Ils ont donc d'abord suivi une formation à l'École du sodium française et ont également pu faire appel à un ingénieur de projet retraité, impliqué dans la conception et le fonctionnement de l'installation. Cet ingénieur a joint des explications aux plans et aux livres de bord.

Grâce notamment à la vidéoscopie et à la radiographie, l'équipe est parvenue à définir l'état, la quantité et la topographie des résidus de sodium et de NaK, avec à la clé, un inventaire plus détaillé et plus précis. Les membres de l'équipe ont examiné les techniques de démantèlement et les processus de nettoyage possibles en tenant compte des propriétés du sodium et du NaK. Des recherches menées dans une installation pilote spécialement construite à cet effet ont démontré que le procédé WVN (azote de vapeur d'eau) et la carbonatation étaient les techniques de nettoyage les plus appropriées en l'espèce. Le procédé WVN est une réaction contrôlée sodium métallique-vapeur surchauffée. Le processus de carbonatation consiste pour sa part à mettre du dioxyde de carbone (et de la vapeur d'eau) en contact avec le sodium. Ce processus est plus facile à contrôler mais plus lent que le procédé WVN, et ne peut pas toujours être appliqué en raison des températures plus élevées qu'il requiert.



Projet en trois parties

La première partie du projet portait sur le démantèlement, l'emballage et l'évacuation du Na et du NaK contenu dans les objets mobiles, les petites installations et le circuit pilote ASL1. Il s'agissait d'une soixantaine de réservoirs et d'installations de remplissage et de distillation, pour un total de 900 litres de sodium et de 100 litres de NaK.

Ce fut ensuite le tour du circuit semi-industriel : une grande installation de pas moins de huit étages, y compris quatre sous-sols abritant notamment un réservoir de remplissage, un réservoir de drainage, des conduites, des échangeurs de chaleur et... plus de 7000 litres de sodium. Le sodium fond à une température d'environ 98 °C. À titre d'essai, les 500 litres de sodium contenus dans le réservoir de remplissage ont d'abord été dissous : l'élément a été chauffé à plus de 120 °C avant de le transférer sous forme liquide dans des fûts d'évacuation prévus à cet effet. Le sodium subsistant dans les conduites horizontales de l'installation Na-3 a ensuite été dissous et transféré dans le réservoir de drainage par légère pression de gaz, avant de transvaser pour finir la totalité des 7000 litres du réservoir de drainage dans des fûts d'évacuation.

La dernière étape se rapportait au démantèlement du circuit proprement dit, constitué notamment d'une pompe, d'un piège à froid, d'un four, de deux échangeurs de chaleur, de sections d'essai, de conduites, de robinetterie et du réservoir de drainage. L'équipe a enlevé la structure de protection entourant le circuit Na-3 avant d'ensuite découper systématiquement les pièces et de les manipuler à l'aide du pont roulant. Une grande partie du circuit, après découpage, a été nettoyée sur place et évacuée sous la forme de déchets métalliques.

Nos collaborateurs ont enlevé les résidus de sodium subsistant sur les parois du réservoir de remplissage et du réservoir de drainage à la fin des phases deux et trois au moyen du procédé WVN. Après une nécessaire intervention manuelle supplémentaire, les deux réservoirs ont finalement été rincés à l'eau avant d'être évacués en tant que déchets métalliques.

Le projet s'étalait sur une période de cinq ans et s'est terminé en 2015. Pour la réalisation effective, ainsi que pour l'évacuation et le traitement du sodium et des composants contaminés au sodium, le SCK·CEN a fait appel aux services et à l'expertise de la société française Métaux Spéciaux (MSSA). Les minutieuses préparations et l'intense collaboration avec divers services à l'intérieur et à l'extérieur du centre d'étude ont mené à une exécution sûre et rapide selon le calendrier prévu. Le bâtiment Technologie est ainsi prêt à accueillir de nouvelles applications.

Expérience pour deux autres projets

Au moins deux projets en rapport avec cette opération, pour lesquels l'expérience acquise peut être utile, sont en chantier. Le bâtiment abrite en effet encore une installation pilote pour tester le lithium, un autre métal alcalin, servant de fluide de refroidissement. Même si ces 100 à 200 litres de lithium n'ont pas subi de contamination radioactive, le but est tout de même de démanteler cette installation à court terme. Il y a également sur le site du BR2 des résidus d'expériences réalisées avec du sodium ou du NaK contaminés. Il est possible, avec une nouvelle cellule de traitement, d'enlever ces résidus sans risque.

Quelle date de péremption pour le béton et le ciment ?

Recherche sur les matériaux en vue du stockage des déchets



Le béton et le ciment sont-ils à long terme suffisamment performants pour le stockage de déchets radioactifs pendant des centaines, voire des milliers d'années ? Ils jouent, en tant que matériaux de construction et de matériaux formant barrière, un rôle important pour isoler les déchets de l'homme et de l'environnement. Mais dans quelle mesure parviennent-ils à remplir leur mission ? Grâce à deux thèses de doctorat, le SCK•CEN a acquis une expertise considérable dans le domaine des matériaux à base de ciment. Plusieurs instances font aujourd'hui déjà appel à ces connaissances.

De nombreuses études ont déjà été menées sur l'érosion du ciment et du béton dans le domaine de la construction. On voit généralement que ces matériaux résistent à l'érosion pour une période de maximum cent ans, parce que la recherche se concentre uniquement sur des constructions telles que des ponts

et des bâtiments qui ne sont conçus que pour une durée limitée. De telles études sont de ce fait peu pertinentes dans le cadre du stockage de déchets radioactifs. On étudie en effet des périodes de temps beaucoup plus longues aussi bien pour le stockage géologique en déchets moyennement et hautement radioactifs que pour le stockage de surface de déchets faiblement radioactifs. Dans ce cas, d'autres aspects sont bien plus pertinents, tels que l'évolution de propriétés comme la diffusion, la porosité et la perméabilité en cas d'érosion à très long terme. Et quel est l'effet sur la sûreté du stockage sur des centaines, voire des milliers d'années ?

Recherche en collaboration avec diverses universités

Pour répondre à cette question, les unités *Evaluations de Performance* et *R&D Enfouissement* ont lancé en 2011 un projet de recherche ayant pour objectif d'étudier les principaux processus ayant un effet sur la tenue à long terme de matériaux à base de ciment. Ces derniers ont par nature un pH (alcalin) très élevé mais, suite au contact avec l'environnement, le pH baisse et la structure et la composition du matériau à base de ciment changent. Les scientifiques ont plus particulièrement examiné les propriétés responsables de l'écoulement de l'eau et de la dispersion de solutés, dont les radionucléides, dans la structure poreuse. Le projet était réalisé en collaboration avec deux groupes de recherche de réputation mondiale dans le domaine de la recherche sur le béton : *Labo Magnel* de l'université de Gand et *Microlab* de l'université technique Delft.

« La collaboration avec les universités a permis d'obtenir une garantie de qualité supplémentaire de la recherche. »

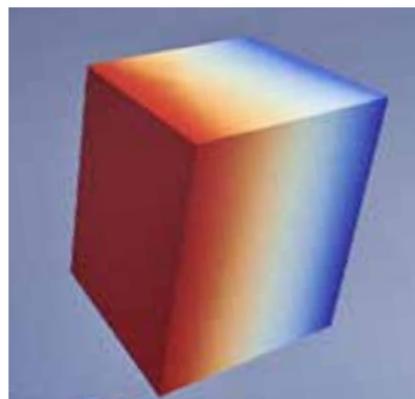
Des collaborateurs du SCK•CEN avaient précédemment déjà développé des techniques expérimentales similaires pour étudier l'argile, et il revenait maintenant à deux doctorants de passer le béton au crible. Phung Quoc Tri a notamment appliqué des processus d'érosion accélérée en vue de stimuler l'érosion à long terme sur une courte période et d'en mesurer l'effet sur les propriétés du matériau. Ravi Patel a développé un modèle numérique permettant de modéliser ces processus à l'échelle microscopique. La collaboration avec les universités a permis d'obtenir une garantie de qualité supplémentaire de la recherche menée.



Effet des processus d'érosion

La première recherche expérimentale portait sur l'influence des processus d'érosion sur la microstructure du béton : quels sont les effets sur la perméabilité à l'eau et les propriétés de transport diffusif ? Le doctorant Phung Quoc Tri a développé et amélioré diverses techniques expérimentales innovatrices en matière d'érosion accélérée, de perméabilité à l'eau et de diffusion des gaz dissous.

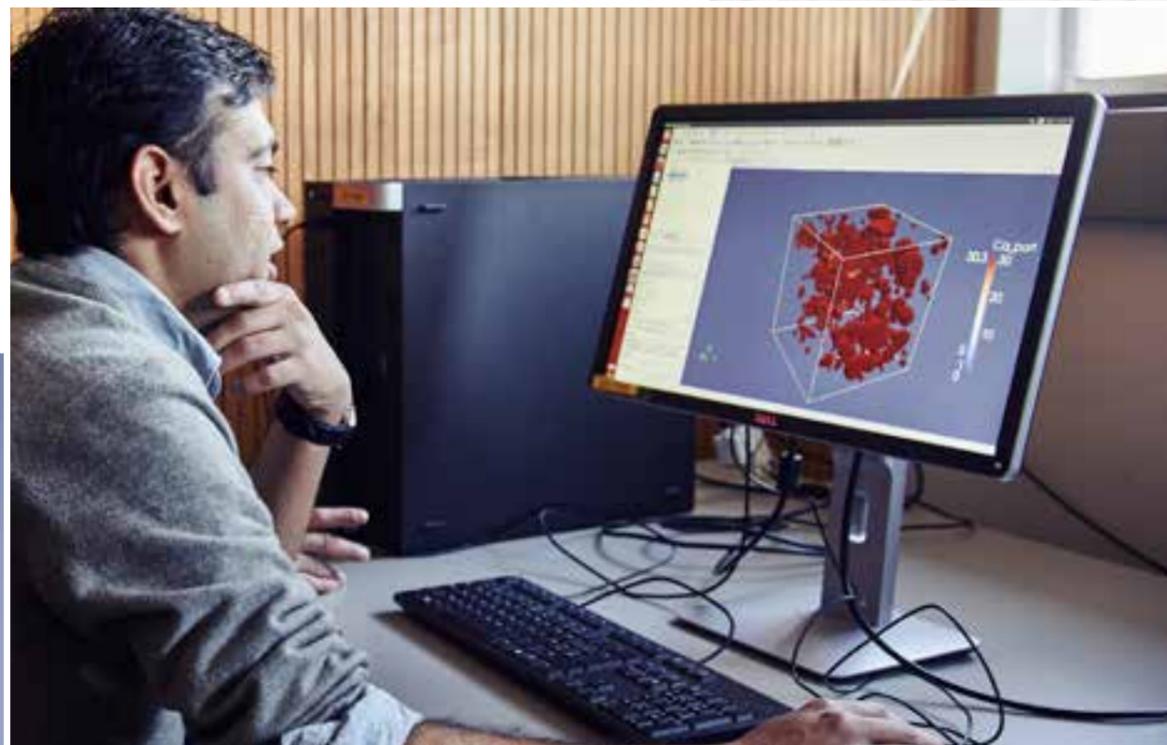
Il est ainsi parvenu à décrire comment des matériaux à base de ciment se délitent sous l'influence de la carbonatation (transformation des minéraux du ciment en calcite) et de la décalcification (lixiviation du calcium), tous deux d'importants processus d'érosion en matière de conditions de stockage. Il a également examiné comment l'érosion des matériaux pouvait être reliée à leurs propriétés de transport, ce qui est notamment important pour le transport de radionucléides.



Modèle pour le long terme

Le deuxième chercheur, Ravi Patel, est parvenu à développer un modèle capable de déterminer les propriétés de transport de matériaux à base de ciment à partir d'informations sur la microstructure. Il a ainsi développé des modèles mathématiques reproduisant à l'échelle microscopique les processus d'érosion et leurs effets sur les propriétés de transport. Le but final de ses recherches était de prédire le comportement à long terme des matériaux. Il a ajouté quelques nouveaux éléments à ladite théorie de Lattice-Boltzmann, une manière de simuler les processus de transport dans une microstructure. La principale innovation est la possibilité de relier le modèle de transport à un modèle géochimique.

Concrètement, une simulation se déroule comme suit : les chercheurs simulent les propriétés de transport sur la base d'informations relatives à la microstructure des matériaux à base de ciment (taille des pores, connectivité entre les pores, répartition des minéraux du ciment). Lorsque ce modèle de transport est relié à un modèle géochimique qui simule l'érosion, l'évolution de la microstructure, de la chimie et des propriétés de transport peut être calculée, y compris sur de très longues durées. Le résultat des simulations peut être confronté aux observations expérimentales.



Des contrats à la clé

Le succès des deux thèses de doctorat a conduit à des contrats de recherche et de développement avec, entre autres, la Commission européenne, l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles enrichies (ONDRAF) et ENGIE.

Le SCK·CEN examinera pour le compte de la Commission européenne et de l'ONDRAF quels sont les effets sur les propriétés de transport de l'argile de Boom et du béton lorsque ces deux matériaux sont en contact. Certains composants de l'argile de Boom provoquent l'érosion du béton, et des composants qui se dégagent du béton entraînent à leur tour des changements chimiques dans l'argile de Boom.

Les chercheurs veulent explorer pour le compte d'ENGIE comment des microfissures accélèrent la carbonatation, et comment la carbonatation change à son tour la microstructure et les propriétés de transport des fractures.

Nouveaux projets de doctorat

Les deux chercheurs peuvent jouer les prolongations dans le cadre d'une étude sur l'effet des agrégats sur l'érosion de matériaux à base de ciment. Ils examineront en outre au moyen de techniques de visualisation telles que la tomographie à rayons X, comment s'effectue le transport de gaz dans ces matériaux. Une étude expérimentale de l'interaction entre les constituants du ciment et les déchets nucléaires, est également prévue. L'accent sera mis à cet égard sur les dépôts de minéraux expansifs et sur l'effet sur les propriétés de transport et les propriétés mécaniques.

Le SCK·CEN élargira ses installations et modèles expérimentaux aussi bien pour le projet d'ENGIE que pour l'étude sur l'effet des agrégats.

Etablir le chaînon manquant entre la théorie et les expériences

Un nouveau laboratoire d'examen des combustibles nucléaires

Ces 25 dernières années, la recherche en matière de combustibles nucléaires était, au SCK•CEN, principalement axée sur le comportement en réacteur, et moins sur la recherche fondamentale. La situation a récemment changé grâce à un tout nouveau laboratoire d'examen des combustibles nucléaires. Le labo a reçu dans le courant de 2015 son agrément final pour travailler avec toutes les formes d'uranium et de thorium. Les expériences complètent parfaitement les recherches menées dans le réacteur BR2.

Depuis sa création, le SCK•CEN a effectué aussi bien de la recherche appliquée que de la recherche fondamentale sur les combustibles des réacteurs nucléaires. Jusqu'il y a 25 ans, le centre d'étude réalisait de nombreuses recherches en matière de combustibles nucléaires. Lorsque cette activité a atteint un niveau industriel, elle a été entièrement confiée à Belgonucléaire.

Un lieu pour des expériences sur les matières solides

Ces dernières années, le centre d'étude a principalement investi dans la recherche post-irradiatoire en matière de nouveaux combustibles nucléaires dans le réacteur BR2, et a progressé dans la recherche théorique

sur les combustibles nucléaires actuels et futurs. Mais il n'avait pas la possibilité de réaliser lui-même des expériences sur les matières solides. Grâce au financement de l'industrie nucléaire et des programmes européens, le centre a finalement pu construire un nouveau laboratoire d'examen des combustibles nucléaires pour la recherche expérimentale avancée.

Dans ce nouveau laboratoire, les experts font aussi bien de la recherche fondamentale que de la recherche appliquée. Grâce à leur travail, le SCK•CEN est en mesure de jeter un pont entre la recherche théorique et la mise en œuvre pratique de celle-ci. Il est actuellement possible d'effectuer dans le labo, à échelle réduite, des analyses détaillées sur les combustibles nucléaires.

« La recherche s'effectue de manière plus rapide, plus poussée et plus complète grâce à une étroite collaboration entre la théorie, les expériences et la problématique industrielle et scientifique. »





Quelles recherches ?

Dans un laboratoire d'examen des combustibles nucléaires, les chercheurs font des expériences conduisant aussi bien à des expériences en réacteur qu'à des recherches complémentaires, comme par exemple l'étude de l'oxydation de l'uranium. Les données de comportement générées par les recherches en laboratoire sont ensuite testées dans des modèles théoriques et ce, dans un grand nombre de conditions extrêmes. Si un tel modèle est capable de prédire ce qui se passe dans des conditions normales et exceptionnelles, il constitue un bon complément aux recherches menées dans le réacteur.

Cette recherche expérimentale fondamentale tente d'expliquer les propriétés des composants de l'uranium et du thorium présents dans toutes les phases du cycle du combustible nucléaire : la production, le comportement en réacteur et le combustible nucléaire usé.

De précieuses études empiriques étaient fréquemment réalisées dans le passé, mais on accordait parfois trop peu d'attention aux mécanismes sous-jacents. De ce fait, les chercheurs ont suivi une voie de recherche qui s'est ultérieurement avérée peu concluante. Le lien entre la recherche expérimentale et théorique faisait aussi souvent défaut. Le nouveau laboratoire comble cette lacune : grâce à une étroite collaboration entre théorie, expériences et problématique industrielle et sociale, il est possible de réagir beaucoup plus rapidement. La recherche s'effectue de manière plus rapide, plus poussée et plus complète.

La construction du nouveau laboratoire a débuté en 2010 grâce à un co-investissement de l'industrie nucléaire (AREVA). Le septième programme-cadre européen MAXSIMA de 2013 et des fonds propres, ont complété le financement. Dans l'intervalle, le groupe d'expertise *Matières fissiles* a peu à peu construit l'infrastructure en étroite collaboration avec le service *Contrôle physique*. L'agrément final a suivi en 2015 ; le laboratoire d'examen de combustibles nucléaires peut maintenant travailler avec de l'uranium et du thorium en solution, en poudre et à l'état solide.

Résultats prometteurs

Les premiers résultats sont prometteurs : dans le cadre de deux thèses de doctorat réalisées en 2015, le paramètre cristallin du dioxyde d'uranium a été déterminé dix fois plus précisément que ce qui était possible auparavant. De nouvelles phases ont été découvertes dans les composants de l'oxyde de thorium et de gadolinium.

Des composés modèles simulant les combustibles nucléaires usés tels qu'ils se comporteront dans plusieurs centaines de milliers d'années, ont également été fabriqués. Ces composés modèles serviront dans des études devant être réalisées par l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles enrichies (ONDRAF) pour examiner la sûreté des options de stockage de combustibles nucléaires usés.

En 2016, les experts du laboratoire fabriqueront des crayons de combustible nucléaire en vue d'effectuer des études de sûreté pour le réacteur MYRRHA. Ces études font partie d'un accord de coopération européen (MAXSIMA). Le projet a pour but d'examiner en détail l'interaction entre le combustible nucléaire et la gaine.

Carnet de rendez-vous complet

Le SCK·CEN ne fait plus appel à d'autres laboratoires que dans le cadre d'études très spécifiques sur les combustibles nucléaires. De plus, tant les entreprises que les instituts de recherche se montrent très intéressés par le nouveau laboratoire d'examen des combustibles nucléaires : le carnet de rendez-vous du centre d'étude est complet pour 2016, et l'année 2017 a également déjà en grande partie été réservée par des partenaires externes. Le centre d'étude collabore étroitement avec ces partenaires en vue de donner un feed-back scientifique fondé sur la mise en œuvre pratique des recherches menées.

L'un des sujets de recherche actuels est la demande de combustibles nucléaires à base de thorium produisant moins de déchets. Le SCK·CEN étudie depuis longtemps déjà le comportement de combustibles nucléaires à base de thorium en réacteur, mais l'un des grands obstacles demeure la fabrication difficile de ce combustible nucléaire. Un mémoire de master et une thèse de doctorat visant à réaliser une percée dans ce domaine, sont actuellement en cours, en collaboration avec des partenaires industriels. Le nouveau laboratoire d'examen des combustibles nucléaires participe à l'ambition du SCK·CEN de continuer à jouer un rôle prépondérant dans le monde de la science nucléaire.





**Nourrir
l'innovation**



« Seize mois de refurbishment pour le BR2 »

Indispensable pour soutenir la santé publique et la recherche en matière de sûreté

Le SCK•CEN a mis son réacteur de recherche BR2 à l'arrêt en février 2015 en vue d'une grande opération d'entretien et de modernisation d'une durée de seize mois. Tout doit être prêt pour juillet 2016 et ce, principalement afin de pouvoir à nouveau produire des isotopes pour le secteur médical. La rénovation consiste principalement à remplacer la matrice, qui forme le cœur du réacteur, une tâche difficile en raison de la complexité de la structure. Steven Van Dyck, manager du réacteur BR2, et Paul Leysen, responsable du groupe Conception de Systèmes Nucléaires, donnent un aperçu du déroulement des travaux.

Paul Leysen, Conception de Systèmes nucléaires
Steven Van Dyck, BR2



La rénovation du BR2 répond à un planning strict. Le réacteur doit de nouveau être opérationnel en juillet 2016. Pourquoi surveillez-vous le planning de si près ?

Steven Van Dyck : En interne, quasi tous les services du SCK•CEN sont touchés de près ou de loin par ce refurbishment. Le BR2 est un acteur majeur dans la production de radioisotopes pour le monde entier. Et ce n'est pas de la vantardise ! Il n'y a que six réacteurs qui fabriquent et commercialisent des isotopes à travers le monde. Un grand nombre de pays dépendent uniquement de l'importation. Fin 2015, le réacteur français Osiris, qui représentait 20 pour cent de la production mondiale d'isotopes, a été mis à l'arrêt, et fin 2016, la production routinière dans le réacteur canadien NRU s'arrêtera. Ces deux réacteurs ne seront pas non plus remplacés à court terme.

Paul Leysen : Les clients sont composés d'un nombre restreint d'entreprises pharmaceutiques qui transforment les isotopes en produits radiopharmaceutiques pour les hôpitaux. L'approvisionnement de ces entreprises est essentiel pour la santé publique et le secteur médical. Quand le BR2 redémarrera en juillet 2016, ce secteur poussera un grand soupir de soulagement.

Comment avez-vous concrètement défini tous les travaux nécessaires ?

Steven Van Dyck : Nous avons déjà établi un planning hebdomadaire plusieurs années auparavant. Ce sont principalement les travaux dans et à proximité du réacteur qui sont importants : le remplacement de la matrice, l'inspection de la cuve du réacteur et le retrait des tubes neutroniques. Ces opérations-là sont terminées aujourd'hui. Au printemps 2016, nous placerons les canaux de la matrice et reconstruirons le réacteur pas à pas. Nous rapportons sur base mensuelle aux autorités de sûreté, l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire

(AFCN) et sa filiale technique Bel V, et organisons des réunions de suivi avec les inspecteurs de ces organismes. Nous communiquons de manière transparente sur tous les changements et modernisations que nous réalisons à titre de contrôle. Nous évitons ainsi également de devoir encore obtenir un tas d'agrément à la fin des opérations. Nous sommes dans un processus d'agrément phase par phase.

Des tubes neutroniques ont donc été retirés du réacteur ? Quelle était l'utilité de ces tubes ?

Paul Leysen : Des tubes neutroniques ont été placés à côté du cœur du réacteur dans le passé en vue de pouvoir réaliser certaines expériences. Il s'agit de tubes creux dans lesquels des neutrons provenant du cœur du réacteur sont guidés vers des expériences en dehors du bassin du réacteur. Nous avons retiré les dix tubes neutroniques parce qu'il

n'existe plus de programme d'irradiation pour ces tubes. Une entreprise française a développé un système permettant de les découper à distance grâce à un procédé mécanique automatique étant donné la radioactivité de la cuve du réacteur. Le dispositif était capable, à partir de sa propre position, de se corriger lui-même pour fraiser et rectifier les tubes neutroniques. Nous avons prévu deux mois pour retirer les tubes, mais grâce à une préparation optimale, l'opération a été bouclée en deux semaines, notamment aussi parce que le niveau d'irradiation était dans la pratique nettement inférieur à celui dont nous avions tenu compte dans les travaux préparatoires.

Certains éléments ont été enlevés, mais un grand nombre de composantes dans et autour du réacteur ont aussi été remplacées.

Steven Van Dyck : En effet, dans le circuit primaire, nous avons fait la révision de l'une des quatre grandes pompes. L'eau contenue dans ce circuit se déverse dans le réacteur et refroidit le combustible nucléaire. Il est donc essentiel d'assurer le bon fonctionnement de ces pompes. C'est pourquoi nous avons aussi acheté une pompe de réserve pour le cas où l'une des autres pompes présenterait une anomalie dans le futur. Nous garantissons ainsi la disponibilité des pompes pour le refroidissement du cœur du réacteur à long terme. Pour ce qui est du circuit secondaire, les grandes conduites souterraines qui vont jusqu'aux tours de refroidissement ont été remplacées. Le drainage du bassin de réacteur qui, dans des circonstances normales, est rempli d'eau, a été modernisé. L'électricité, les instruments et le système de ventilation nucléaire ont également été mis à jour.

Paul Leysen : Nous avons remplacé toutes les conduites souterraines. La plupart dataient déjà d'il y a plus de cinquante ans. La structure des tours de refroidissement a été rénovée au niveau architectural et toutes les composantes mécaniques ont été remplacées. Tous les câbles souterrains, les tableaux électriques et les transformateurs ainsi que le réseau électrique de secours, ont été contrôlés et modernisés, le cas échéant. Il s'agissait souvent de remplacements préventifs, mais les installations sont de ce fait aussi plus fiables et plus faciles à entretenir avec les techniques actuelles. De nombreux collaborateurs internes et partenaires externes se sont activés sur plusieurs zones du chantier en même temps.

En raison de sa structure complexe, le remplacement de la matrice était un véritable challenge. Les calculs relatifs aux pièces de la matrice n'étaient pas non plus totalement corrects lors des deux rénovations précédentes. À quoi cela était-il dû ?

Paul Leysen : Le BR2 a soixante ans. Dans le passé, les dessins se faisaient sur papier, tous les calculs étaient effectués à la main et les mesures étaient transférées sur les dessins manuellement sur les plans. On ne savait pas non plus si ce qui se trouvait dans le réacteur correspondait exactement à ce qui figurait dans les rapports et sur les dessins. Nous avons dès lors décidé, en 2012, de partir d'une feuille blanche, en utilisant la formule mathématique la plus générale de l'hyperboloïde à une nappe. Il faut savoir qu'il arrivait parfois aux dessinateurs, dans le passé, de commettre des erreurs : après le calcul, il pouvait arriver qu'ils reprennent un résultat erroné sur le plan. Avec la conception assistée par ordinateur (computer-aided design ou CAD), une 'erreur de transcription' n'est pas possible car les données proviennent directement du modèle de calcul. Si vous



faites tout exactement comme vous l'avez calculé et que vous tenez compte des tolérances, il n'y a pas de raison que cela n'aille pas. Nous avons vérifié un certain nombre de plans réalisés dans le passé en les confrontant au modèle CAD. Tout était correct, et les erreurs de calcul commises sur les anciens plans ont été rectifiées.

Le SCK·CEN a dû faire appel à des partenaires externes pour la production de la nouvelle matrice. Comment vous y êtes-vous pris ?

Paul Leysen : Nous avons d'abord établi un bref cahier des charges et sommes allés rendre visite aux entreprises intéressées pour voir si elles étaient en mesure de fabriquer la matrice. Nous avons sélectionné trois candidats pour les pièces en acier et une seule entreprise américaine pour le béryllium. Les contrats ont été adjugés à la mi-2013 et la production a duré environ un an et demi.

Steven Van Dyck : Cela peut sembler long mais la production est vraiment très complexe. Nous avons suivi le processus de production de très près en vue de surmonter toutes les difficultés conjointement avec les fabricants. Les éléments, qui ont chacun leurs spécificités, ont été livrés à Mol en 2015. Tous les canaux ont été assemblés ici et placés dans une cuve de montage à blanc.

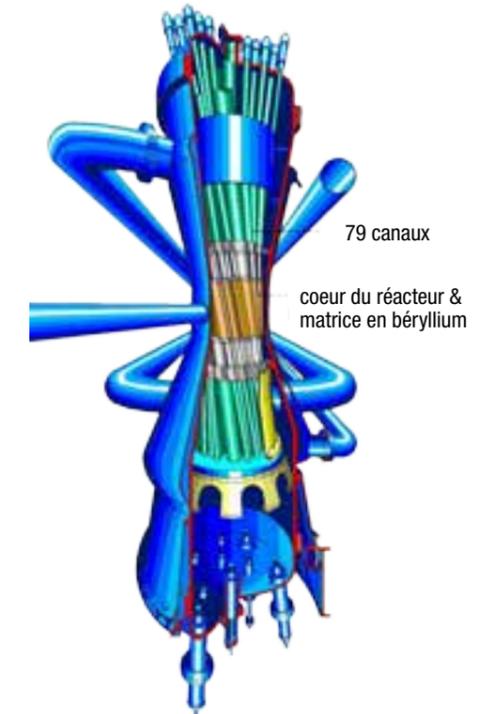
On ne peut pas dire que tout s'est fait en deux temps trois mouvements.

Paul Leysen : Non, mais l'opération s'est déroulée beaucoup plus vite que prévu. Nous avons d'abord dressé la liste pour chaque canal et procédé à un contrôle approfondi. Un canal se compose de cinq grandes pièces et de vingt à trente petites, et il est essentiel

« Quand le BR2 redémarrera en juillet, le secteur médical poussera un soupir de soulagement. »

LA MATRICE DU BR2

La partie centrale du réacteur BR2 est constituée d'une matrice en béryllium, composée de canaux hexagonaux contenant des éléments fissiles, des barres de contrôle ou des dispositifs d'irradiation. Cette matrice forme le cœur du réacteur. Bien que la puissance et le volume (environ 1 m³) du cœur du réacteur soient 30 fois inférieurs, le BR2 produit une densité de neutrons 500 fois supérieure à celle générée par un réacteur de puissance.





L'UNION FAIT LA FORCE

Bien qu'à première vue, quasi tous les travaux de rénovation se déroulent sur le terrain du BR2 – au propre comme au figuré –, il s'agit réellement d'un projet conjoint de l'ensemble du SCK•CEN. Du planning à la conception, en passant par le développement technique, l'administration et l'achat, une multitude de services et de collaborateurs à l'intérieur et à l'extérieur du SCK•CEN soutiennent ce projet qui façonnera le futur du centre de recherche au cours des prochaines années.

installations d'irradiation. Nous devons être prêts pour le premier cycle d'exploitation au cours de la deuxième ou troisième semaine de juillet 2016.

La licence du BR2 est réévaluée tous les dix ans. Si le réacteur redémarre en 2016, peut-on parler de 2026 comme date de fin ?

Steven Van Dyck : Il n'y a pas, d'un point de vue légal, de date de fin. La prochaine décennie ne sera donc pas nécessairement la dernière. C'est pourquoi nous examinons aujourd'hui déjà quelles composantes ont besoin d'une modernisation ou d'un entretien. Nous optons souvent pour des composantes neuves dont la durée de vie va bien au-delà de dix ans. En outre, la stratégie du SCK•CEN est de disposer d'une grande installation d'irradiation sur base permanente.

Paul Leysen : Le dossier des cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 est la preuve que le BR2 présente une plus-value importante, non seulement pour notre centre de recherche, mais aussi pour tout le pays. Sans le BR2, il n'aurait pas été possible de démontrer que l'impact des défauts constatés est si minime qu'il ne justifie pas la fermeture des centrales (voir page 54).

Steven Van Dyck : C'est pourquoi nous envisageons déjà la période 2026-2036. Les éléments que nous ne remplaçons pas aujourd'hui, comme la cuve du réacteur, par exemple, font déjà l'objet d'une évaluation de la situation actuelle et future. Et il n'est pas impossible que nous poursuivions ce programme jusqu'en 2036.

de bien connaître chaque élément. Il y a ensuite eu l'assemblage. On a trois tailles de canal : les petits canaux ont un diamètre interne de 50 mm, les canaux moyens font 80 mm et les canaux les plus grands 200 mm. Ces derniers rendent le BR2 unique ; c'est le seul réacteur d'essai au monde dans lequel il est possible de placer des dispositifs ayant un tel diamètre. Et nous possédons cinq canaux de cette taille !

Steven Van Dyck : Nous avons prévu d'assembler les canaux de fin janvier à novembre 2015, mais tout était déjà prêt en août. Nous avons compté sur un canal par jour pour l'assemblage des petits canaux et des canaux moyens, et sur un canal par semaine pour les grands canaux. Nous nous concertons chaque lundi avec les managers du réacteur et les gestionnaires de projet, les concepteurs, les mécaniciens, les opérateurs du réacteur, les spécialistes de la sécurité industrielle et les contrôleurs et inspecteurs physiques. Chaque non-conformité était rapportée. Dès que tous les canaux ont été prêts, Bel V est venue inspecter le résultat et valider la conformité aux spécifications.

Paul Leysen : Le moment de l'assemblage dans une cuve de montage à blanc,

un modèle fidèle de la cuve du réacteur, se rapprochait. Si tout s'emboîtait là, cela devait également être le cas dans la vraie cuve du réacteur. Nous avons finalement pu placer tous les canaux sans problème. Une performance impressionnante quand on sait que les tolérances se comptent en dixièmes de millimètre. Nous retenions tous notre souffle lors de la mise en place du dernier canal, mais il s'est parfaitement emboîté !

Des rallonges ont entre-temps été conçues pour fixer les canaux dans le réacteur. Nous avons prévu deux mois en 2016 pour cette installation, mais les choses iront peut-être plus vite, car nous n'avons eu besoin que de deux semaines pour le montage à blanc. Les séquences ont en outre été répétées et nous avons fait des enregistrements vidéo de tous les mouvements. Ceux-ci prouveront encore leur utilité par la suite.

Quand le BR2 sera-t-il de nouveau opérationnel ?

Steven Van Dyck : Au printemps, nous ferons des mesures et le couvercle sera replacé sur le réacteur. Nous effectuerons ensuite des tests à froid et à chaud pour voir si tous les systèmes fonctionnent correctement. Nous demanderons ensuite à l'AFCN l'autorisation de charger le combustible nucléaire et nous nous dirigerons de nouveau vers un fonctionnement critique à puissance nulle. Pour terminer, nous chargerons toutes les expériences et

Rénover

jusqu'au cœur

Au SCK•CEN, l'usure n'a jamais raison de la connaissance et de la technologie nucléaires. La troisième rénovation du réacteur BR2 en ses cinquante ans d'existence lui assure un état de fonctionnement optimal. Trente ans après la première production de radioisotopes dans le BR2, ces éléments sont aujourd'hui utilisés avec succès pour des traitements extrêmement efficaces contre le cancer. Et trente ans aussi après la découverte du carburant MOX, nous utilisons cette technologie pour développer des combustibles nucléaires à base de thorium qui produisent moins de déchets. Continuer à sans cesse innover, telle est notre mission.

Leo Sannen

Directeur de l'Institut Science des Matériaux nucléaires



Au revoir CALLISTO, bonjour ReCall

Nouvelle installation flexible pour le BR2

La rénovation du BR2 est pour le SCK•CEN l'occasion idéale de procéder à un examen des installations d'irradiation dans le réacteur. La boucle CALLISTO a ainsi notamment généré pendant plus de vingt ans d'excellents résultats dans le cadre de la recherche sur les combustibles et les matériaux. Mais en y regardant de plus près, il s'est avéré que ce concept n'était plus assez flexible pour un usage actuel. Le SCK•CEN a dès lors décidé de dissocier les expériences sur les matériaux et les combustibles. L'une des premières nouvelles installations, baptisée ReCall, a été développée pour l'irradiation des matériaux de cuve de réacteurs.

Chaque nouvelle installation exécutera une partie de ce qui était réalisé par CALLISTO. Les chercheurs pourront encore irradier des éprouvettes (échantillons Charpy) de matériaux de réacteur pour des essais de ténacité dans les conditions d'un réacteur à eau pressurisée, mais dans une quantité nettement moindre. L'avantage majeur est la flexibilité de l'installation.

« Il est parfaitement possible d'effectuer dans ReCall des irradiations telles que celles qui ont été réalisées pour la recherche dans le cadre de Doel 3 et Tihange 2. »

Installation mobile

La boucle CALLISTO était un dispositif qui se trouvait au sein même du réacteur BR2 en permanence. Le SCK•CEN souhaite désormais introduire davantage de flexibilité. C'est la raison pour laquelle ReCall, qui signifie littéralement *Replacement of CALLISTO*, est une installation mobile qui permet de maintenir une température constante d'environ 300 °C.

Le chauffage se produit dans un canal d'irradiation à l'intérieur du tube de force, même lorsque le réacteur est hors service. ReCall contiendra donc aussi bien des éléments de chauffage que de l'isolation thermique, avec à la clé un panier de taille réduite pour les échantillons. La quantité standard d'éprouvettes est passée de 100 à 20. Les concepteurs de ReCall ont dû faire preuve de beaucoup d'imagination pour trouver la bonne disposition dans un espace si réduit mais sous haute pression.

Concrètement : des irradiations similaires à celles qui ont été réalisées pour la recherche dans le cadre des réacteurs Doel 3 et Tihange 2, seront parfaitement possibles dans ReCall (voir page 52). La seule différence est que le nombre d'échantillons pouvant être irradiés de manière simultanée dans ReCall est plus faible.



Assemblage et essai

Les concepteurs de l'installation ne se lancent pas à la légère. Le concept a été validé par la commission de sûreté et une phase de développement détaillée est actuellement en cours. Des modèles correspondant à la géométrie précise doivent être développés pour contrôler comment l'installation réagira dans toutes les conditions opérationnelles possibles.

La fabrication sera entamée dès que les concepteurs seront convaincus que toutes les caractéristiques du concept ReCall peuvent garantir un fonctionnement sans risque. Après la livraison des éléments commandés, il y aura un premier assemblage d'essai en dehors du réacteur, avec une phase d'essai approfondie. Cette phase comprendra le contrôle des dimensions, des tests de pression et des épreuves d'étanchéité et l'examen d'éventuels transitoires opérationnels dans une boucle d'essai en dehors du réacteur. Si tous les tests sont concluants, le SCK•CEN introduira un dossier de construction auprès de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN) en vue de demander une licence d'irradiation.

Mise en service fin 2016

Dès la délivrance de la licence par l'AFCN, l'équipe de projet transférera ReCall aux collaborateurs du BR2. Ceux-ci réassembleront l'installation, l'installeront dans le réacteur et procéderont à de nouveaux essais avant le démarrage du BR2. La mise en service définitive de ReCall est prévue pour fin 2016.

Examen de l'intégrité des cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2

Une expertise unique en comportement du matériau

Les défauts dus à l'hydrogène — ou « hydrogen flakes » — dans la paroi des cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 ont régulièrement fait la une de l'actualité ces dernières années. Pour évaluer la tenue des matériaux, l'exploitant a fait appel à l'expertise du SCK•CEN. En 2015, nos chercheurs ont réalisé plusieurs irradiations et des centaines de tests et d'analyses en vue d'évaluer de manière rigoureuse le comportement du matériau.

C'est en 2012 qu'une inspection prévue du réacteur de Doel 3 met à jour les dénommés « défauts dus à l'hydrogène » (DDH) ou flocons d'hydrogène. Ces défauts sont des fissures situées à l'interface entre le revêtement austénitique et la paroi interne de la cuve du réacteur. Aucune fissure de ce genre n'a été constatée. Cette inspection a par contre détecté un grand nombre d'indications de défauts quasi laminaires — appelés flocons d'hydrogènes — au niveau des viroles inférieure et supérieure de la cuve du réacteur de Doel 3.

La cuve du réacteur de Tihange 2 a également été examinée dans l'intervalle, parce qu'elle ressemble très fort à celle de Doel 3 et qu'elle a été fabriquée à la même époque par le même fabricant. Les mêmes indications y ont été découvertes : des DDH qui s'étaient formés à un stade précoce de la production des



pièces en acier. Ces DDH apparaissent en général lors du refroidissement et de la solidification de l'acier suite à la présence d'une concentration plus élevée d'hydrogène dans le métal fondu et/ou une température qui n'a pas été maintenue suffisamment longtemps à un certain niveau pour évacuer l'excédent d'hydrogène. En conséquence, des DDH se sont formés dans l'acier, un phénomène bien connu dans le secteur sidérurgique.

En termes techniques, on parle de macro-ségrégation : lors de la solidification de l'acier, une zone riche en impuretés et éléments d'alliage apparaît. Cette zone est la dernière à se solidifier et l'hydrogène piégé peut s'y accumuler lors du refroidissement et donner lieu à des DDH. Lors du processus de forgeage des viroles de la

cuve du réacteur, ces DDH ont été aplatis, ce qui leur donne cette forme de flocons, d'où le terme flocons d'hydrogène. Ces défauts ont une longueur moyenne de 12 à 16 mm et une épaisseur de l'ordre d'une feuille de papier à cigarettes. Ces DDH présentent une orientation laminaire, c'est-à-dire qu'elles suivent la courbure de la paroi de la cuve du réacteur.

Demande de clarté

L'exploitant de Doel 3 et Tihange 2 a donc logiquement pris la décision de ne pas redémarrer les réacteurs avant d'obtenir plus de clarté sur l'intégrité actuelle et future de la structure des cuves des deux réacteurs. Tout ce processus s'est déroulé sous la supervision de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN).

Afin d'étudier le comportement du matériau présentant des DDH, on a eu recours à des matériaux de substitution comportant le même type de DDH que Doel 3. Fournie par AREVA, la première pièce de substitution portait le nom de VB-395.

Le SCK•CEN a mené plus de 500 essais sur les différents matériaux non irradiés, centrés sur l'effet de la macro-ségrégation et des DDH sur la résistance des matériaux. En prenant en compte l'influence de l'irradiation sur les matériaux, aucun impact significatif sur les propriétés mécaniques des cuves n'a été constaté. Après l'ajout d'une marge de sécurité supplémentaire, le dossier de sécurité présenté par l'exploitant a ensuite été scrupuleusement analysé et évalué par des panels d'experts internationaux et des autorités de sécurité. Sur base de cette évaluation, l'AFCN a donné en mai 2013 son feu vert pour le redémarrage des deux réacteurs pour un cycle d'environ un an, à condition de mener des essais confirmatoires sur du matériau irradié.

Résultats inattendus

Le SCK·CEN a dès lors été chargé de procéder à des analyses complémentaires par le biais d'une campagne d'irradiation dans le réacteur de recherche BR2 et d'analyser en détail les résultats de ces essais. Le but était de vérifier expérimentalement que l'effet réel de l'irradiation sur la macro-ségrégation en présence des DDH n'était pas significatif et qu'il était englobé par la marge supplémentaire considérée.

Les résultats de l'irradiation du matériau VB-395 ont laissé les chercheurs perplexes : la fragilisation du matériau était beaucoup plus importante que prévu. Cette constatation a été signalée à l'exploitant, qui a décidé, pour des raisons de sûreté, de mettre à nouveau Doel 3 et Tihange 2 à l'arrêt et d'intensifier encore davantage ses programmes d'irradiations et d'essais afin de comprendre cette anomalie.

Description et comparaison des propriétés

Cette fragilisation supplémentaire inattendue était-elle propre au matériau VB-395 ou à un phénomène générique ? Pour le savoir, le SCK·CEN a examiné plusieurs matériaux de cuve et un deuxième matériau contenant des DDH similaires. Cette pièce, portant le nom de KS-02, a été fournie par l'institut MPA en Allemagne. Les propriétés du VB-395, du KS-02 et d'autres matériaux ont été largement caractérisées et ce, aussi bien dans des conditions irradiées que non irradiées. Le but était alors de décrire et de comparer l'évolution des propriétés de tous les matériaux.

Dans le réacteur BR2, les matériaux ont été irradiés à différentes fluences (de faibles à élevées) afin d'examiner si les flocons d'hydrogène pouvaient avoir une influence sur la fragilisation et afin d'évaluer la cinétique de dégradation. Pas moins de 1000 essais ont eu lieu, dont plus de 500 sur des matériaux irradiés,

pour évaluer les comportements des matériaux nécessaires à l'étude d'intégrité des cuves de réacteurs. Des échantillons spécialement conçus à cet effet, présentant une encoche ou une fissure dans une zone de macro-ségrégation spécifique, ont été testés en vue de déterminer la résistance locale à la fissuration en présence des DDH. Des échantillons de grande taille contenant un grand nombre de DDH ont également été testés avec succès en vue de vérifier l'approche conservatrice des essais précédents et des calculs d'intégrité.

Au final, quatre campagnes d'irradiation ont été réalisées dans le BR2 afin d'étudier l'effet de l'irradiation sur une multitude d'échantillons et de matériaux. Ces recherches ont clairement démontré que la fragilisation dans le matériau VB-395 constituait une anomalie spécifique à ce matériau et ne se présentait ni dans le matériau KS-02, ni dans les réacteurs de Doel 3 et Tihange 2.

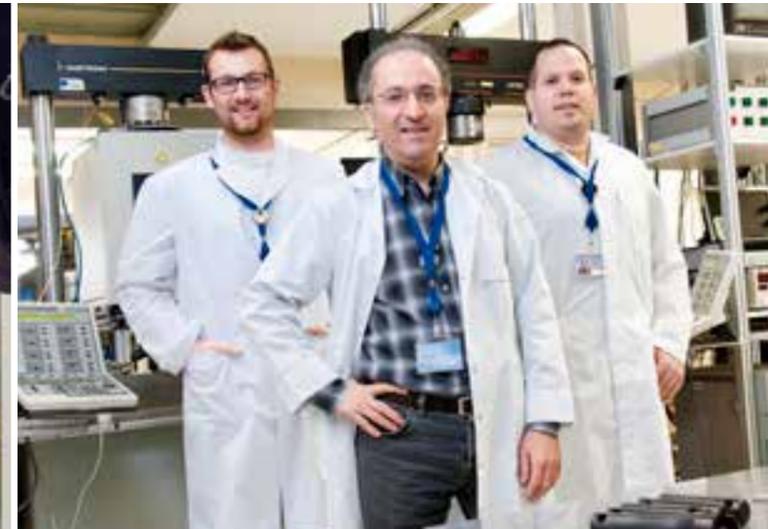
Afin de constituer un dossier de sûreté hautement fiable, les chercheurs ont, pour le calcul de l'intégrité, adopté une approche très conservatrice. La production d'hydrogène et l'éventuelle diffusion et rétention dans la cuve de réacteur ont également été étudiées pour montrer que les DDH ne pouvaient pas croître.

Interprétation des résultats

Le SCK·CEN a effectué des tests ultramodernes et appliqué des procédures d'évaluation très poussées pour caractériser de manière correcte et fiable le comportement sous irradiation du matériau. Les résultats ont été examinés au moyen d'outils d'interprétation avancés et analysés en vue de soutenir les calculs d'intégrité structurels de la cuve du réacteur. L'exploitant et les experts du SCK·CEN ont présenté les résultats des tests et leur analyse à l'AFCN et à un panel international d'experts plébiscités par l'AFCN. Le but du panel d'experts était d'évaluer et de garantir la qualité et la pertinence de ces recherches en vue de pouvoir émettre un avis sur la sûreté de fonctionnement des deux réacteurs. À titre de mesure supplémentaire, l'AFCN a soumis l'étude à un laboratoire américain indépendant, l'*Oak Ridge National Laboratory*, qui a appliqué sa propre méthodologie pour confirmer l'analyse de l'intégrité.

Conclusion : l'intégrité structurelle des cuves des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2 se situe dans les limites des normes de sûreté imposées et la présence de DDH n'a aucune influence néfaste sur leur sûreté. L'AFCN a dès lors conclu en novembre 2015 qu'il n'y avait plus aucune raison d'empêcher le redémarrage des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2.

« Nous avons effectué des tests ultramodernes et appliqué des procédures d'évaluation très poussées pour caractériser de manière correcte et fiable le comportement sous irradiation du matériau. »



MYRRHA,

une technologie
plus sûre
et plus propre

Le SCK·CEN travaille activement à la conception et à la construction d'une nouvelle installation multifonctionnelle d'irradiation, MYRRHA — *Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications*. Ce successeur du réacteur BR2 est le premier prototype au monde d'un réacteur nucléaire actionné par un accélérateur de particules. MYRRHA se base sur l'utilisation de neutrons rapides et son refroidissement se fait à l'aide de métal liquide : un alliage de plomb et de bismuth. Il s'agit d'un réacteur sous-critique, puisque son cœur ne contient pas suffisamment de matière fissile pour maintenir spontanément la réaction en chaîne et doit donc être constamment alimenté par une source neutronique externe, en l'occurrence un accélérateur de particules. Il s'agit d'une technologie sûre et facile à contrôler. Si l'on débranche l'accélérateur de particules, la réaction en chaîne cesse littéralement en une fraction de seconde et le réacteur s'arrête.

Grâce aux neutrons rapides, le combustible est utilisé plus efficacement dans le réacteur, ce qui réduit la quantité de déchets radioactifs. En outre, MYRRHA doit démontrer la faisabilité technique du traitement par transmutation des éléments les plus radiotoxiques. La fission d'éléments à longue durée de vie en éléments dont la durée de radiotoxicité est fortement réduite, entraîne une nouvelle diminution de la quantité de déchets et de leur durée de vie. De ce fait, la durée de stockage requise passe de centaines de milliers d'années à quelques centaines d'années.

Outre l'étude de la transmutation, le SCK·CEN utilisera MYRRHA pour un large éventail d'applications, telles que des essais de matériaux pour les réacteurs actuels et futurs, la technologie de production d'énergie par fusion nucléaire, le développement de nouveaux combustibles et la production de radio-isotopes médicaux. En 2015, et en concertation avec le *MYRRHA Ad Hoc Group*, le SCK·CEN a établi un plan d'implémentation. A partir de 2024, le centre d'étude de Mol pourra mettre en service la première phase de MYRRHA : l'accélérateur de particules d'une énergie de 100 MeV (voir page 58).

Financement

Le coût total du projet MYRRHA est estimé à 1,5 milliard d'euros. En 2010, le gouvernement belge décidait de soutenir le projet pour cinq ans à hauteur de 60 millions d'euros afin de poursuivre la recherche et le développement de l'infrastructure. Il stipulait également qu'en tant que pays hôte, la Belgique assumerait 40 pour cent du coût total de la réalisation complète de MYRRHA. Sur base du rapport d'évaluation portant sur la période 2010-2014, le gouvernement a réaffirmé son soutien en 2015 en accordant au SCK·CEN une nouvelle dotation exceptionnelle pour MYRRHA de 40 millions d'euros pour 2016-2017.

2015

Le gouvernement belge réaffirme son soutien

Le soutien du gouvernement belge a été crucial par le passé. Aussi, nous nous félicitons que les autorités fédérales se soient engagées à nous soutenir encore pour les deux années à venir. Nous attendons par ailleurs beaucoup du Haut Représentant qui sera nommé par le gouvernement afin de faciliter la création du consortium international autour de MYRRHA et d'obtenir le soutien financier de la Banque européenne d'investissement.

Hamid Aït Abderrahim

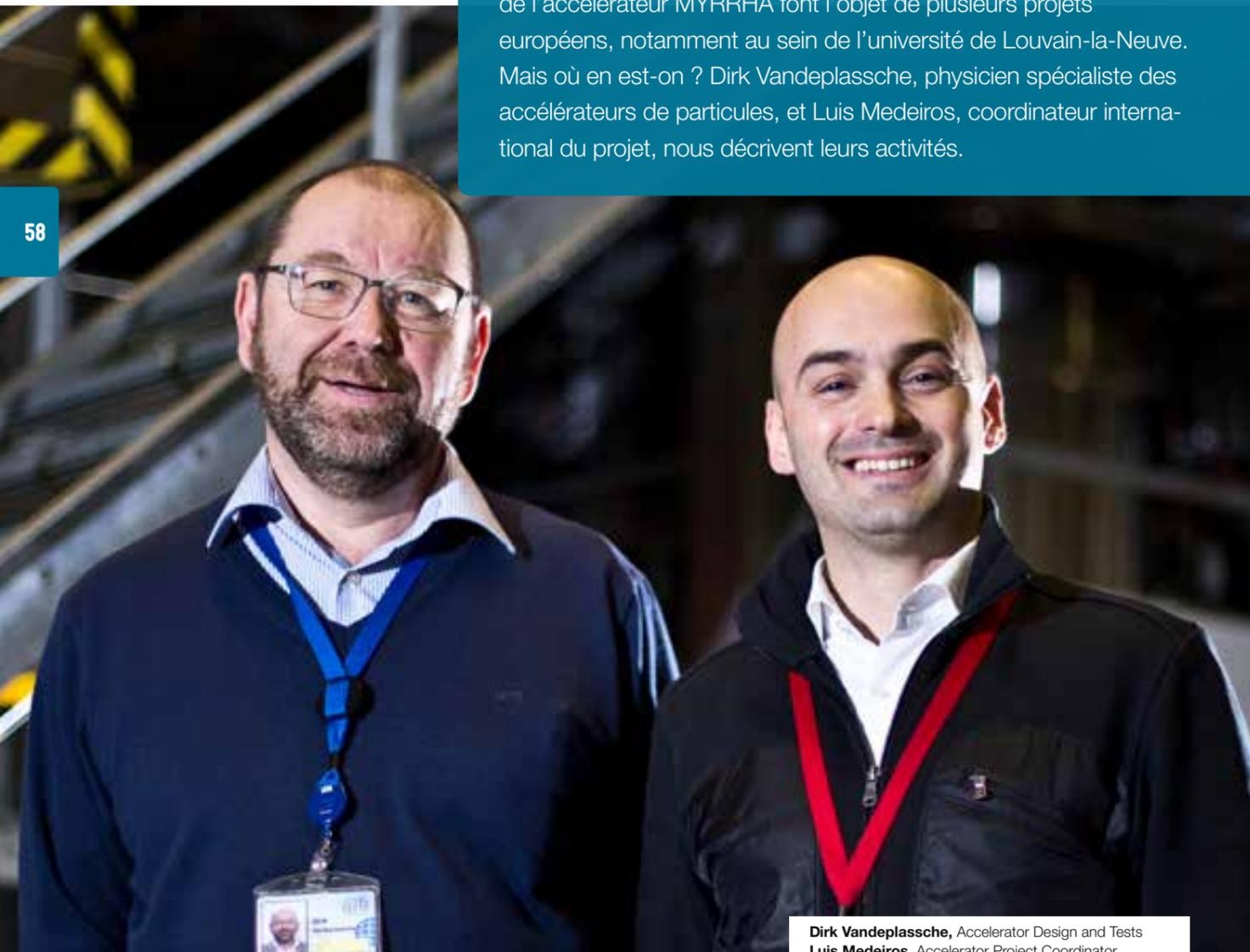
Directeur du projet MYRRHA



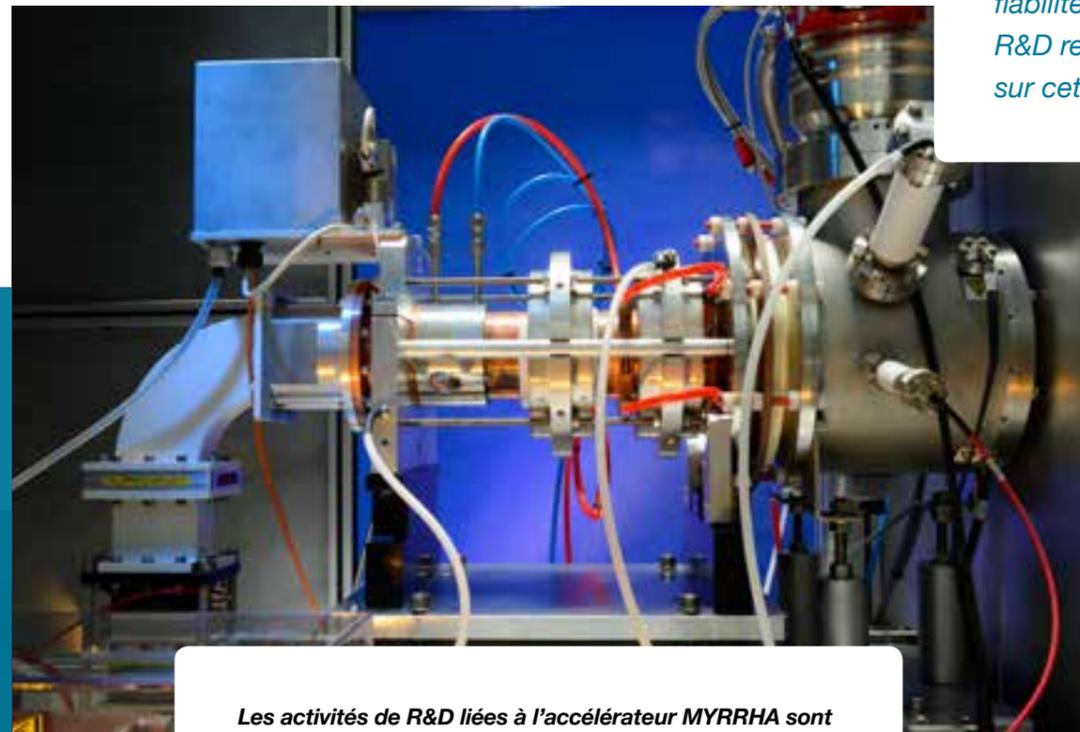
« Un accélérateur de particules à haute fiabilité pour MYRRHA »

Recherche et développement à l'échelle européenne

Le futur réacteur de recherche MYRRHA est un ADS ou Accelerator Driven System (système piloté par accélérateur). La particularité de cette installation réside dans l'utilisation d'un accélérateur de particules – un composant crucial. La conception et la construction de l'accélérateur MYRRHA font l'objet de plusieurs projets européens, notamment au sein de l'université de Louvain-la-Neuve. Mais où en est-on ? Dirk Vandeplassche, physicien spécialiste des accélérateurs de particules, et Luis Medeiros, coordinateur international du projet, nous décrivent leurs activités.



Dirk Vandeplassche, Accelerator Design and Tests
Luis Medeiros, Accelerator Project Coordinator



Les activités de R&D liées à l'accélérateur MYRRHA sont divisées en plusieurs projets européens. Pourquoi avoir opté pour une recherche à l'échelle européenne ?

Dirk Vandeplassche : Aujourd'hui, l'équipe du SCK·CEN qui s'occupe des accélérateurs est composée de quatre collaborateurs. Cette équipe est amenée à s'agrandir et à se concentrer essentiellement sur la coordination et la gestion du programme traitant des accélérateurs, mais la recherche proprement dite se déroule au sein d'un partenariat presque exclusivement européen. En d'autres termes, nous assurons la coordination et la gestion tandis que nos différents partenaires mettent en œuvre le programme expérimental sur le plan scientifique. De cette manière, toutes les parties sont gagnantes.

Quel est le rôle spécifique de l'équipe dans le développement du projet MYRRHA ?

Luis Medeiros : Le projet MYRRHA consiste essentiellement en un cœur de réacteur sous-critique alimenté par une source externe de neutrons. Cette source est constituée d'une cible de spallation vers laquelle est dirigé un faisceau intense de protons. Notre équipe est spécifiquement chargée de concevoir et fabriquer l'accélérateur de particules qui génère ce faisceau de protons.

Dirk Vandeplassche : Grâce à l'étroite collaboration entre les différents partenaires, nous saurons précisément à qui faire appel pour la construction de chaque composant lorsque nous entrerons dans la phase de fabrication de l'accélérateur.

« Le défi principal de l'accélérateur est sa fiabilité ; le programme de R&D repose entièrement sur cette exigence. »

Le choix s'est porté sur un linac supraconducteur ou accélérateur linéaire de particules à haute fiabilité. Pourquoi ?

Dirk Vandeplassche : Dans le cœur du réacteur MYRRHA, nous souhaitons produire des neutrons à l'aide de protons. Pour y parvenir, la spallation constitue une réaction efficace. Cependant, elle nécessite une énergie allant de plusieurs centaines de mégaelectronvolts (MeV) à 1,5 gigaélectronvolt (GeV). De nombreuses machines permettent d'obtenir une énergie de 600 MeV, mais pour MYRRHA, le faisceau de protons doit atteindre une puissance de 2,4 mégawatts au sein du cœur. Cette puissance est telle que nous devons choisir entre un cyclotron et un linac. À 600 MeV, le cyclotron est déjà proche de sa limite, ce qui explique pourquoi le linac offre une bien meilleure fiabilité.

Luis Medeiros : Les facteurs de fiabilité sont de nature technique et opérationnelle. Lorsqu'un ADS connaît un problème avec le faisceau de protons, le réacteur s'arrête immédiatement. Dans le cas des réacteurs classiques, nous appelons cela un scram, un arrêt d'urgence. Le redémarrage peut durer plusieurs heures. C'est précisément la raison pour laquelle vous devez être parfaitement sûr du bon fonctionnement de l'accélérateur. Le défi principal de l'accélérateur MYRRHA est sa fiabilité, et le programme de R&D repose entièrement sur cette exigence. Nous devons commencer par caractériser au mieux le faisceau de protons pour le côté basse énergie de l'accélérateur (0 à 15 MeV). Il s'agit d'un point crucial, car la qualité de ce faisceau détermine la réussite de l'accélération à travers la structure — soit un total de 300 mètres.

Les faisceaux sont déjà en test dans le cadre du projet MYRTE, n'est-ce pas ?

Luis Medeiros : Tout à fait. Le projet MYRTE prévoit la construction de plusieurs composants destinés au côté basse énergie de l'accélérateur — le RadioFrequency Quadrupole (RFQ) et son amplificateur RF à haute puissance — ainsi que des tests avec faisceau. Pour la section initiale de l'accélérateur — la source d'ions et le transport du faisceau basse énergie — le SCK·CEN travaille en concertation avec l'université de Louvain-la-Neuve (UCL) dans le cadre du projet RFQ@UCL. Ce projet est mené en étroite collaboration avec le Laboratoire de Physique Subatomique & de Cosmologie de Grenoble, où se trouve actuellement le dispositif de test. Il s'agit de la même équipe grenobloise qui a conçu l'accélérateur GENEPI-3C pour le projet GUINEVERE du SCK·CEN. Nous avons de nombreux contacts avec eux. En 2017, le dispositif sera acheminé à Louvain-la-Neuve pour que les chercheurs universitaires puissent réaliser des tests approfondis avec faisceau.

Dirk Vandeplassche : Un autre point essentiel réside dans la technique à utiliser pour générer la puissance RF : il est désormais possible de construire des amplificateurs performants et fiables avec des transistors à haute puissance dernier cri. Un prototype va être fabriqué par l'entreprise IBA à Louvain-la-Neuve.

Dans quelle mesure importe le contrôle de l'accélérateur par rapport à l'ensemble du processus de conception ?

Dirk Vandeplassche : Pour garantir une fiabilité optimale de l'accélérateur, il faut disposer d'un système de contrôle efficace. Il a joué un rôle important dès le début et deviendra de plus en plus critique au fil du projet. Le système de contrôle est extrêmement complexe et intègre tout : chaque élément réel est associé à un composant virtuel. Il faut donc voir le système comme un cerveau qui surveille l'ensemble et aide ainsi à garantir la fiabilité.

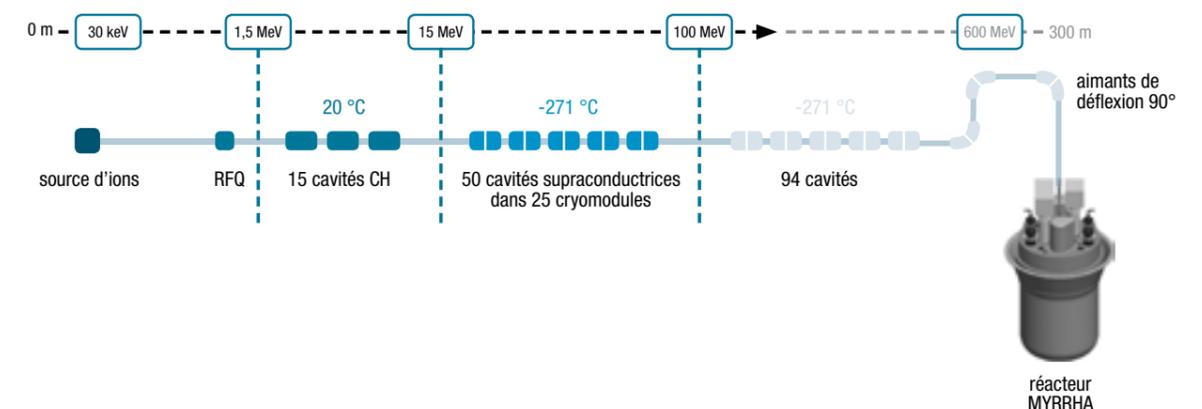
Quels sont les projets qui seront prochainement sur la table ?

Dirk Vandeplassche : Le faisceau de protons généré par le RFQ à l'extrémité du côté basse énergie de l'accélérateur possède une énergie de 1,5 MeV. Pour l'accélérer, nous utiliserons ce que l'on appelle des cavités CH. Ce faisant, le faisceau grimpera à 6 MeV et ensuite à 15 MeV. Une fois construits, ces composants seront intégrés au dispositif de test à Louvain-la-Neuve et subiront à leur tour des tests approfondis avec faisceau.

Luis Medeiros : La prochaine phase est la conception de la première section supraconductrice de l'accélérateur. Il faut savoir qu'à partir de 15 MeV, les cavités supraconductrices fonctionneront à une température de 2 degrés kelvins (-271 °C). C'est pourquoi nous devons réaliser un prototype de cryostat équipé de deux de ces cavités. Pour parvenir à 100 MeV, la première section supraconductrice de l'accélérateur sera constituée de 25 modules de ce type.



Accélérateur MYRRHA



MYRRHA se rapproche de son coeur

Nos chercheurs introduisent un simulateur pour le MOX

Le projet de recherche européen quinquennal FREYA a été lancé en 2011 sous la coordination du SCK•CEN. Ce projet englobe une série de tests physiques visant à soutenir le design et l'attribution de licences du coeur de systèmes pilotés par un accélérateur de particules tels que MYRRHA. Les chercheurs se rapprochent de plus en plus de la réalité visée. Ils ont ainsi en 2015 introduit de l'oxyde d'aluminium dans le réacteur rapide VENUS-F en vue de simuler l'oxyde dans le combustible MOX utilisé par MYRRHA.

FREYA est l'abréviation de *Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications*. Il s'agit d'un projet mené dans le cadre du septième programme-cadre européen. Le premier volet technique des travaux concernait le développement et la validation d'une méthode pour mesurer en ligne la sous-criticité d'un système piloté par un accélérateur de particules (Accelerator Driven System ou ADS). Le deuxième volet des travaux consistait à charger le coeur du réacteur rapide VENUS-F de manière critique en vue d'être le plus représentatif possible d'un réacteur rapide refroidi au plomb. Les volets 3 et 4 concernaient une simulation plus détaillée du coeur de MYRRHA en vue de la conception et de l'obtention des licences.

Nouvelle composition des éléments combustibles

Le 3e volet des travaux s'est déroulé entre février et octobre 2015 dans le réacteur VENUS-F. Plusieurs configurations de coeur de réacteur ont été chargées en vue d'examiner le futur coeur critique de MYRRHA. Dans ce volet des travaux, une toute nouvelle composition des éléments combustibles a tout d'abord été choisie et assemblée pour tous les coeurs. Cette composition sera utilisée jusqu'à la fin du projet. La différence fondamentale se situe au niveau de l'utilisation d'oxyde

d'aluminium sous la forme de barres en oxyde d'aluminium en vue de simuler l'oxygène de l'oxyde dans le combustible qui serait utilisé par MYRRHA.



« La différence fondamentale se situe au niveau de l'utilisation d'oxyde d'aluminium en vue de simuler l'oxygène dans le combustible futur utilisé par MYRRHA. »

Le bismuth comme fluide réfrigérant

Le dernier volet des travaux réalisés dans FREYA est consacré à l'examen du contrôle de la réactivité dans le coeur sous-critique de VENUS-F, qui se rapproche de celui de MYRRHA. Il s'agit du même coeur que le coeur critique CC8, mais sans les quatre assemblages de combustible centraux en raison de la ligne verticale de l'accélérateur GENEPI-3C qui est reliée au réacteur.

Une fois le projet FREYA terminé en mars 2016, les installations seront utilisées pour des expériences dans le cadre du projet MYRTE (MYRRHA Research and Transmutation Endeavour, Horizon 2020). Le 5e volet des travaux de MYRTE est intitulé *Experiments in support of the MYRRHA design evolution*. Un aspect spécifique à cet égard est que les assemblages de combustible du réacteur VENUS-F contiendront désormais également du bismuth, ce qui permettra aux chercheurs de simuler le plomb-bismuth qui devrait être utilisé dans MYRRHA de manière optimale.

Des simulations toujours plus détaillées

Ces nouveaux assemblages combustibles ont d'abord été utilisés pour simuler le coeur de MYRRHA sans perturbation d'aucune sorte. Les deuxième (CC7) et troisième (CC8) configurations chargées dans VENUS-F simulaient pas à pas le vrai coeur de MYRRHA, perturbations incluses. Il s'agissait ici plus précisément du réflecteur d'oxyde de béryllium (BeO) et des sections en pile (IPS) utilisés pour la production de molybdène, un isotope radioactif essentiel pour le secteur médical. Le réflecteur d'oxyde de béryllium de MYRRHA a été simulé avec succès dans le coeur CC7 du réacteur VENUS-F modéré au graphite. Les IPS ont également été simulées dans le coeur CC8 sur la base d'une composition similaire à celle des véritables IPS dans MYRRHA. L'eau prévue dans le projet MYRRHA a toutefois, dans VENUS-F, été remplacée par du polyéthylène.

1 gramme d'oxygène pour 1000 tonnes de plomb-bismuth

Capteurs ultra précis pour un fonctionnement sûr de MYRRHA

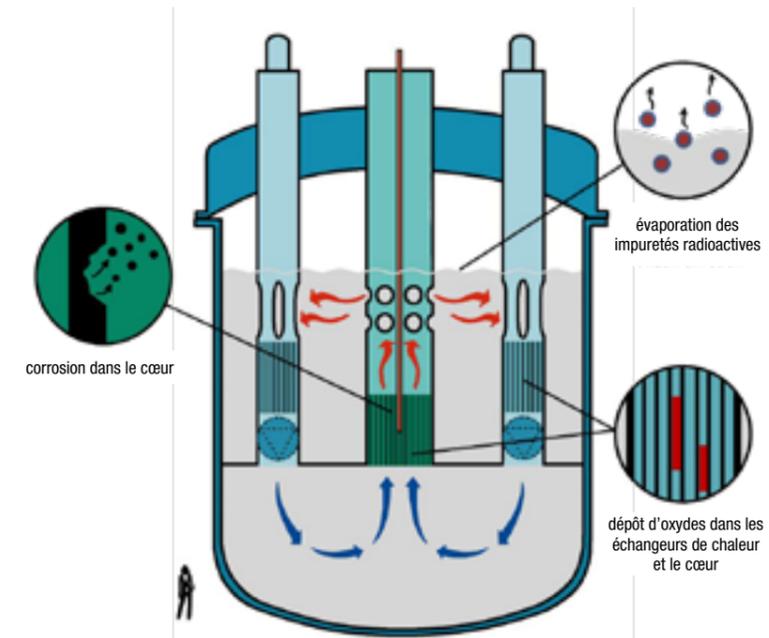
Un eutectique plomb-bismuth liquide servira de fluide réfrigérant dans le réacteur de recherche MYRRHA. Les chercheurs du SCK•CEN étudient dès lors le comportement de cet alliage. Le but est d'arriver à des calculs de sûreté précis, nécessaires à l'obtention de la licence d'exploitation. Il est nécessaire à cet effet de développer des systèmes très précis et fiables permettant de mesurer et de contrôler la concentration d'oxygène dans le LBE du réacteur.

Le LBE ou *Lead Bismuth Eutectic* contient une très faible quantité d'oxygène dissous. L'oxygène est pourtant l'élément-clé des processus chimiques qui se produisent dans le LBE. Même une faible concentration peut influencer le fonctionnement et la sûreté d'un réacteur refroidi au LBE tel que MYRRHA. Si la concentration d'oxygène est trop élevée, une réaction apparaît avec le plomb contenu dans le fluide réfrigérant. Cette réaction entraîne la formation d'oxyde de plomb solide, qui commencera à se déposer. De telles particules solides peuvent provoquer des blocages dans le cœur du réacteur ou les échangeurs de chaleur.

Un autre phénomène est la corrosion. Si la concentration d'oxygène est trop faible, la corrosion s'accélère. La corrosion doit être réduite le plus possible pour ne pas altérer le revêtement en acier autour du combustible et éviter le rejet de produits de fission dans le LBE.

L'oxygène est également très important au niveau des réactions avec des impuretés dans le LBE. Prenons par exemple le fer et le chrome qui se retrouvent dans le LBE par corrosion. Ils réagissent à l'oxygène et forment des particules solides, avec un risque de blocage à la clé. Les réactions de l'oxygène influencent aussi fortement le comportement chimique des

impuretés radioactives et provoquent leur évaporation et leur dépôt sur des surfaces qui entrent en contact avec le LBE. Tous ces processus peuvent avoir une grande influence sur la sûreté.



Contrôle précis de la concentration d'oxygène

Il est dès lors essentiel de contrôler avec soin la concentration d'oxygène dans le LBE : les chercheurs du *Programme de Conditionnement et de Chimie* tendent à une valeur cible de 10^{-7} pour cent en poids d'oxygène dans le LBE, ce qui correspond à environ 1 gramme d'oxygène pour 1000 tonnes de plomb-bismuth. Le réacteur MYRRHA, qui doit contenir plusieurs milliers de tonnes de LBE, n'abritera que quelques grammes d'oxygène. Même si l'oxygène présent l'est dans de très faibles concentrations, un contrôle précis est nécessaire pour garantir la sûreté du réacteur.

Il existe au niveau mondial plusieurs systèmes permettant de contrôler l'oxygène dans le LBE. De nombreux laboratoires utilisent du gaz, une méthode relativement simple. Une autre méthode est la dissolution contrôlée d'oxyde de plomb, une technique initialement développée en Union soviétique.



« Des chercheurs japonais, roumains et chinois se sont déjà procuré nos nouveaux capteurs d'oxygène. »



L'innovation

est inscrite dans nos gènes

Le SCK•CEN peut s'appuyer sur un riche héritage de recherches exploratoires et de réalisations technologiques uniques. Nous mettons aujourd'hui ces vastes connaissances et compétences à profit pour développer des solutions durables aux problèmes de société actuels. Innover continuellement et répondre de manière flexible aux défis de demain sont les clés de notre succès.

Peter Baeten

Directeur de l'Institut Systèmes nucléaires avancés



Élucidation de processus fondamentaux

Les chercheurs du *Programme de Conditionnement et de Chimie* ont encore d'autres projets en vue. Ils souhaitent mieux comprendre les processus chimiques fondamentaux qui provoquent la formation et le dépôt de particules solides suite à des réactions avec l'oxygène. Des simulations détaillées en 3D de réactions chimiques avec l'oxygène sont réalisées dans le cadre du projet MYRRHA afin de prédire comment et où la concentration d'oxygène dans le réacteur diffère de la concentration visée. Les connaissances acquises sur le LBE offrent également des possibilités d'applications et de valorisation en dehors du secteur nucléaire, dans le domaine des piles et de l'énergie solaire, par exemple. Il s'agit là d'applications prometteuses, qui ne font pas partie des activités principales du SCK•CEN.

Pompage électrochimique de l'oxygène

Outre des capteurs, d'autres outils sont également nécessaires pour ajouter de très faibles quantités d'oxygène au LBE ou retirer de l'oxygène de celui-ci et ce, de façon contrôlée et fiable. Une nouvelle technique unique, baptisée EPO, a dès lors été développée au sein du SCK•CEN : *Electrochemical Pumping of Oxygen*. Les chercheurs appliquent déjà la technique EPO à la boucle expérimentale MEXICO, mais le design actuel de MYRRHA amène à un volume 1000 fois plus important. Pour avoir dans MYRRHA un système fournissant des performances équivalentes, l'efficacité de la technique EPO devra être adaptée de manière encore plus précise aux grandes installations de LBE.

Détection des impuretés

De toutes les impuretés présentes dans le LBE, seul l'oxygène pouvait jusqu'à présent être mesuré online avec une grande sensibilité. L'idéal serait d'avoir des capteurs spécifiques pour d'autres impuretés. Il n'est pas évident de développer de tels capteurs, et cela demanderait beaucoup de temps et d'argent. Heureusement, les chercheurs ont découvert qu'ils pouvaient aussi indirectement détecter d'autres impuretés importantes, telles que le fer, en mesurant l'oxygène. Grâce à cette découverte, des impuretés ont récemment été détectées avec succès dans le LBE et ce, avec un niveau de détail sans précédent.

Avec ces systèmes, la précision des capteurs d'oxygène laisse à désirer en dessous de 350 °C. Le SCK•CEN est aujourd'hui parvenu à faire baisser la limite de température des capteurs à 150 °C. Dans MYRRHA, la température minimale sera de plus ou moins 200 °C, il y a donc de la marge. On a ainsi une nouvelle famille de capteurs d'oxygène avec la technologie y afférente, adaptée aux conditions MYRRHA. Des chercheurs japonais, roumains et chinois se sont entretemps déjà procuré les nouveaux capteurs d'oxygène développés au sein du SCK•CEN.



**Optimaliser
les ressources**

04



« L'avenir est numérique et hyperconnecté »

Une nouvelle plateforme répertorie et gère la production scientifique

Le papier appartient au passé, le présent et l'avenir sont numériques. Le SCK·CEN a donc commencé à digitaliser les anciennes publications de sa bibliothèque. Dans l'intervalle, une toute nouvelle plateforme de production scientifique, baptisée ROMa, a vu le jour. Cette riche banque de données peut déjà être consultée par les collaborateurs du centre de recherche, et prochainement par les chercheurs d'autres instituts et le grand public. Danielle Couvreur, Knowledge Manager, nous propose une visite guidée de sa ville numérique.

Danielle Couvreur, Knowledge Management

Vous êtes occupés depuis un certain temps déjà dans la bibliothèque du SCK·CEN à digitaliser les anciennes publications scientifiques et à vous débarrasser des livres au contenu daté. Pourquoi ?

Danielle Couvreur : Avec la modernisation de la bibliothèque, nous voulons, via le portail interne Knowledge Centre, non seulement mettre notre catalogue et nos documents électroniques à la disposition de nos collaborateurs, mais aussi leur donner accès à toutes sortes de services pour consulter des articles, des 'papers' et des informations de recherche. Nous avons en outre été informés fin 2014 d'un éventuel déménagement de la bibliothèque, ce qui demande une longue préparation. Le moment était venu d'expurger notre collection de livres. Nous avons organisé en décembre 2015 une bourse aux livres qui a suscité un grand intérêt auprès de nos collègues.



Comment abordez-vous la digitalisation ?

Danielle Couvreur : Nous avons commencé la digitalisation en 2015 et poursuivons ce processus en 2016. En ce qui concerne les anciennes publications scientifiques de la bibliothèque, le projet s'étend sur plusieurs années. Dans le cadre de l'archivage, nous avons chargé un partenaire externe de scanner toutes nos informations papier. Tous les fichiers numériques sont stockés de manière centralisée dans *Alexandria*, notre système de gestion documentaire. Rien ne se perd ; nous mettons toutes les publications à disposition sous la forme de documents consultables. Avec la confidentialité nécessaire.

Nous sommes en outre passés en 2014 au logiciel de gestion de bibliothèque *Brocade*. Grâce à ce logiciel, nos utilisateurs peuvent chercher une publication beaucoup plus rapidement. Des liens entre *Alexandria* et *Brocade* permettent de chercher des documents et de lire des textes entiers. Tout est proprement répertorié sur la base du titre, des auteurs, du type de publication, des événements qui y sont liés, et ainsi de suite. S'il le faut, nous corrigeons des données.



« Grâce à la nouvelle plateforme d'information, nous pouvons partager nos connaissances avec des chercheurs d'autres instituts et avec le grand public. »

Vous avez à présent également digitalisé les publications des collaborateurs du SCK·CEN. Ces publications restent-elles uniquement accessibles en interne ? Ou mettez-vous également ces connaissances à la disposition d'un public plus large ?

Danielle Couvreur : La majorité de nos publications sont consultables en interne. La nouvelle application *ROMa* (Research Output Management) permet à nos chercheurs de répertorier et de retrouver plus facilement leurs publications scientifiques.

Mais nous vivons dans un monde connecté. Il convient de partager nos connaissances et ce, aussi bien avec les chercheurs d'autres instituts qu'avec le grand public. C'est pourquoi nous développons sur notre site web public *Science Platform* une application offrant un accès aisé à nos publications. Cet *Institutional Repository* contiendra non seulement nos travaux scientifiques, mais aussi certains sujets publics, notamment au niveau européen. Il sera dès lors possible de chercher et suivre par thématique, et aussi d'exporter. Nous sommes ainsi susceptibles d'être mentionnés dans d'autres répertoires, ce qui accroît notre notoriété.

Comment de telles publications sont-elles évaluées ? Y a-t-il des changements ?

Danielle Couvreur : Il y a deux grands changements au niveau de l'évaluation de nos publications scientifiques. Nous attribuons à présent un score à la publication proprement dite, et non plus au premier auteur cité. Nous avons également réexaminé le partage des scores afin de mettre davantage l'accent sur la qualité, et moins sur la quantité.

Quels défis avez-vous rencontré au niveau des TIC pour la digitalisation de toutes les publications et pour la création de ROMa ?

Danielle Couvreur : Nous parlons ici de deux projets parallèles : la digitalisation des documents et l'implémentation de *ROMa*. Cette dernière a requis l'intégration de trois anciennes bases de données sur une période de plus de soixante ans. Les différences en termes de structure, d'organisation et de personnel, étaient énormes. L'échange d'informations entre *ROMa* et les bases de données de HR, SAP, Brocade et *Alexandria* n'a pas non plus été une mince affaire. Nous avons non seulement créé de nouveaux flux de travail pour la validation dans *Alexandria* et *ROMa*, mais aussi harmonisé les deux technologies en vue d'une présentation uniforme sur le site web public.

Notre équipe était composée de membres du personnel de la bibliothèque, de collègues ICT et de collaborateurs qui nous aidaient à établir les processus, les règles et les directives. Grâce à cette étroite collaboration, nous avons créé avec *ROMa* une plateforme d'information performante qui fera dans le futur encore l'objet des mises à niveau nécessaires.

Notre personnel, notre force motrice

Faire fructifier nos talents

Les ressources humaines font battre le cœur de notre organisation. Ce sont elles qui mettent les projets en œuvre et qui forment, ensemble, l'expertise qu'offre le SCK•CEN au monde extérieur. Il faut, pour tel ou tel groupe de collaborateurs, gérer le présent notamment au niveau administratif, et envisager le futur. Une tâche qu'assume avec enthousiasme le département Human Resources Management (HRM).

DIGITALISATION DE 750 DOSSIERS DE PERSONNEL

Toutes les personnes qui entrent au service du SCK•CEN se voient attribuer un dossier de personnel propre dans lequel une série de documents sont conservés : curriculum vitae, lettre de candidature, contrat de travail, diplômes, certificats... Les travailleurs étrangers ont encore d'autres documents tels qu'un visa, une convention d'accueil et des documents de séjour. Tout cela génère une pile de papier, sans oublier que les documents doivent être conservés pendant dix ans après le départ du travailleur.

Économies de papier, de place et d'argent

Depuis quelques années, le service du personnel attendait impatiemment de nouvelles possibilités d'archivage pour les dossiers de personnel. Annik Stessens, HR Business Partner: « La digitalisation des dossiers de personnel

présente beaucoup d'avantages par rapport à la gestion sur papier. On peut en effet explorer des archives électroniques de fond en comble, et les données sont rapidement identifiables. Sans parler des économies de papier, de place et d'argent. »

Numérique et sûr

Pour en arriver là, tous les dossiers de personnel ont dû être scannés. Annik Stessens : « Nous avons confié cette tâche à une entreprise spécialisée. Les collaborateurs du département

HRM ont toutefois d'abord été mis à contribution pour donner la même structure aux documents figurant dans les dossiers du personnel existant. Aujourd'hui, tous les dossiers du personnel ont été scannés et stockés dans un endroit sûr sous forme de fichier numérique. »

Accès au dossier personnel

Chaque nouveau dossier est à présent directement créé sous format électronique, néanmoins il subsiste toujours des documents papier. « Nous les scannons immédiatement et les insérons au bon endroit dans le dossier conservé dans *Alexandria*, le système de gestion documentaire du SCK•CEN », explique Annik Stessens. « Grâce à *Alexandria*, les documents peuvent être rapidement mis à la disposition des collaborateurs et des gestionnaires du dossier. »



Annik Stessens, HR Business Partner

DES ENTRETIENS DE CARRIÈRE POUR OFFRIR UN AVENIR AUX TALENTS

Découvrir les talents des collaborateurs et en parler avec eux les aide à faire des choix concernant les fonctions, les tâches et les missions dans le cadre desquelles ces talents peuvent être utilisés. Car lorsqu'une organisation met l'accent sur les talents d'un travailleur, l'engagement et le bien-être de celui-ci sont plus importants. Le SCK•CEN souhaite s'investir dans ce projet par le biais d'entretiens de carrière.

UNE PLUS-VALUE POUR TROIS PARTIES

Le collaborateur

La carrière est un élément essentiel de la vie de nos collaborateurs. Dès le moment où ils quittent les bancs de l'école jusqu'à leur pension, ils sont au travail. Il est intéressant qu'ils puissent eux-mêmes donner forme à leur carrière et faire ce pour quoi ils sont doués. Et leur responsable est là pour découvrir leurs talents et les aider à les mettre en pratique.

Le responsable

« Quelles sont les attentes de mon équipe et quels talents abrite-t-elle ? » Si les responsables connaissent la réponse à ces questions, ils sont mieux à même de planifier et de partager les tâches entre leurs collaborateurs.

L'organisation

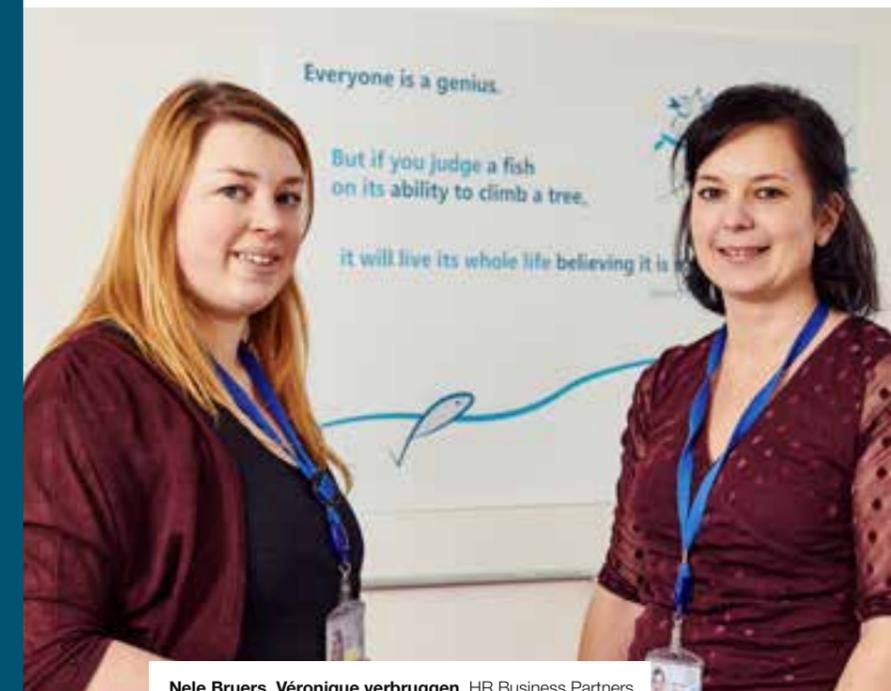
L'organisation a un aperçu des talents et des attentes de ses collaborateurs. En mettant ce capital humain à profit de manière judicieuse, l'organisation augmente l'engagement de chacun, y compris à long terme. Plus les collaborateurs peuvent faire ce qu'ils aiment et ce pour quoi ils sont doués, plus il y a d'énergie au sein de l'organisation.

Montrer son appréciation, un élément fondamental

« Dans le cadre de l'entretien de carrière, nous souhaitons trouver un équilibre entre l'ambition, le talent et les possibilités », affirment les HR Business Partners Véronique Verbruggen et Nele Bruers. « Nous avons pour but de permettre aux collaborateurs de faire davantage ce qu'ils aiment et ce pour quoi ils sont doués, toujours dans les limites des possibilités de l'équipe et de l'organisation. La priorité doit dès lors, dans les entretiens de carrière, être donnée au talent. Nous attendons du collaborateur qu'il prenne l'entretien en main et cherche lui-même quelles sont les possibilités. Le responsable hiérarchique doit pour sa part aborder l'entretien via l'approche de *l'appreciative inquiry* : l'idée est de ne pas se concentrer sur les défauts et les lacunes, mais sur les capacités et les sources d'énergie des individus. »

Ambiance d'ouverture

« Parler dans une ambiance d'ouverture est primordial, cette règle s'applique à chaque organisation et à chaque secteur », affirment les HR Business Partners sur la base de leur expérience. « Les entretiens ne sont pas une obligation, mais un droit pour chaque collaborateur. Ils ne sont donc pas organisés à date fixe, car le moment auquel un entretien de carrière est utile varie pour chacun. Le collaborateur et le responsable hiérarchique ont quoi qu'il en soit à leur disposition un manuel plein de conseils, d'astuces et de questions pour les aider à donner, ensemble, un sens à l'avenir. »



Nele Bruers, Véronique Verbruggen, HR Business Partners

Nouveau parc de recyclage pour déchets non nucléaires

Bon débarras !

Le SCK•CEN ne disposait jusqu'il y a peu d'aucun lieu centralisé pour la collecte de déchets non nucléaires en vue de leur enlèvement par des partenaires externes. La construction d'un parc de recyclage propre au centre s'est terminée en 2015. La gestion des déchets se déroule à présent de manière plus efficace et dans le respect de règles strictes conformes à la législation. Une collecte sélective renforcée permet de réduire les coûts et de recycler davantage.

Le parc de recyclage du centre de recherche est le point d'orgue d'une série de changements au niveau de la gestion des déchets non nucléaires. L'unité *Gestion des Déchets et Passifs* a été désignée en tant que service opérationnel centralisé pour collecter les déchets sur le site de l'entreprise, les stocker temporairement dans le parc de recyclage et les faire enlever par des partenaires externes spécialisés dans le traitement des déchets et contractuellement liés au SCK•CEN. Ce point de

contact unique constitue, d'un point de vue organisationnel, une rupture radicale avec le passé, lorsque plusieurs services se chargeaient chacun d'une partie du traitement des déchets.

Dans le cadre de la gestion actuelle des matériaux, la notion de 'déchet' disparaît parce que les matières premières utiles présentes dans les matériaux usés peuvent être réutilisées ou recyclées. Le législateur impose un ordre prioritaire à la gestion des déchets : d'abord la prévention, puis la réutilisation, le recyclage en d'autres applications utiles, et pour finir l'enlèvement ou la mise en décharge.

Sécurité, sûreté et environnement à l'honneur

Le SCK•CEN est soumis à de strictes exigences en matière de sécurité. Le nouveau parc de recyclage a dès lors été installé à l'extérieur du site et pourvu d'un accès séparé. Les sociétés de collecte des conteneurs ne doivent donc pas entrer sur le site

« Nous avons fait un grand pas en avant pour une gestion des déchets efficace et respectueuse de l'environnement. »



nucléaire. À la sortie du parc de recyclage, des détecteurs assurent un ultime contrôle de sûreté quant à la présence de matières radioactives. L'environnement n'a pas été oublié non plus : le parc est entouré de plantations typiques de la région et un hôtel à abeilles de l'association *Natuurpunt* a été mis en place.

Collecte sélective maximale

Plus de vingt types de déchets sont collectés sur base sélective au SCK•CEN : non seulement les déchets comparables aux déchets ménagers, mais aussi des déchets dangereux, des déchets médicaux à risque, des déchets de construction et de démolition, des déchets métalliques et de bois, des appareils électroniques, des huiles, etc. Les déchets dangereux sont en outre encore subdivisés en fonction de leur dangerosité pour l'homme et l'environnement.

La collecte sélective maximale favorise les possibilités de recyclage et réduit les frais de traitement. Plus le tri à la source est efficace, plus les coûts d'enlèvement et de traitement sont réduits. Le produit de certains flux de déchets et la gestion renforcée des déchets d'emballage sont également intéressants sur le plan économique.

Une campagne de sensibilisation a été menée en vue d'informer tous les collaborateurs de la nouvelle gestion des déchets. Le SCK•CEN a ainsi fait en 2015 un grand pas en avant pour une gestion des déchets efficace et respectueuse de l'environnement.

La gestion des sols et la gestion de l'énergie vont de pair

Études et assainissement du sol

L'installation de production de chaleur à distance commune au SCK•CEN et au VITO fonctionne au gaz naturel et chauffe de nombreux bâtiments. Certains sites secondaires sont également chauffés au mazout. Les citernes à mazout ont malheureusement pollué le sol dans le passé. Le SCK•CEN rétablit aujourd'hui la qualité du sol, prend des mesures préventives et améliore en même temps, là où cela s'avère possible, la consommation d'énergie et la qualité de l'air.

Des études exploratoires ont révélé la présence d'une pollution du sol dans plusieurs parcelles du SCK•CEN. La pollution a été délimitée horizontalement et verticalement dans des études descriptives du sol, de sorte à établir clairement l'étendue des zones polluées. Des projets d'assainissement ont ensuite été développés. Un assainissement était nécessaire dans quatre zones : le quartier résidentiel, le site du BR2, le site du BR3 et une petite zone à Mol-Donk.

Le quartier résidentiel

Dans le quartier résidentiel, le sol était pollué autour de plusieurs citernes à mazout de citernes à mazout des maisons. Après diverses études réalisées par des experts, les entrepreneurs ont assaini les zones polluées en 2014. Le sol pollué a été évacué en vue d'un traitement biologique et d'une réutilisation. Des citernes neuves à double paroi avec détection permanente de fuites, conformément à la législation en vigueur, ont été installées. L'opération

s'est déroulée en accord avec les habitants et en veillant au respect de la stabilité des maisons.

Le site du BR2

La rénovation du réacteur de recherche BR2 en 2015 constituait le moment idéal pour venir à bout de la pollution au mazout à hauteur du bâtiment de ventilation : les anciennes citernes ont été nettoyées et évacuées, la terre polluée a été excavée et remplacée par de la terre propre. L'ancienne installation de combustion a fait place à une installation mixte fonctionnant principalement au gaz naturel et ne faisant qu'un usage limité de mazout. Ce projet rétablit la qualité du sol, réduit le risque

« Des experts surveillent la situation de près selon un programme de suivi strict. »

de pollution du sol dans le futur et améliore aussi bien l'efficacité énergétique que les émissions dans l'air.

Le site du BR3

Le site du BR3 est relativement isolé et en cours de démantèlement. Une zone polluée se trouve juste à côté et en dessous du bâtiment. Les anciennes citernes ont été nettoyées et inertisées. Des citernes neuves répondant aux exigences les plus strictes ont été mises en place. L'assainissement complet est prévu dans la phase finale du démantèlement, entre 2020 et 2030, en concertation avec l'Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM).

Pour les trois projets, des experts surveillent la situation de près selon un programme de suivi strict.

La zone à Mol-Donk

En 2016 et 2017, une parcelle encore plus petite située dans la Lichtstraat à Mol sera traitée; elle concerne une ancienne station de mesure pour le monitoring de l'environnement, qui se trouve à l'intérieur de la zone de pollution historique à l'amiante de Mol-Donk. Dans le cadre d'un projet d'assainissement local plus important, l'amiante sera recouvert d'une feuille isolante et d'une nouvelle couche de protection.

Diesel pour les générateurs de courant de secours

Le site du centre de recherche abrite encore aussi des citernes contenant du diesel pour les générateurs de courant de secours. Afin de limiter le risque de pollution du sol, les anciennes citernes sont systématiquement remplacées par des neuves. Il a également été tenu compte à cet égard des conditions connexes des stress tests effectués au SCK•CEN. Les autorités imposent une autonomie minimale pour les installations électriques de secours. Il s'agit là d'un aspect déterminant pour la capacité des nouvelles citernes.

Une approche axée

sur la sûreté et l'environnement

Exploiter notre centre d'étude de manière sûre, respectueuse de l'environnement et énergétiquement efficace nécessite une attention de tous les instants. Nous nous efforçons de mettre en œuvre une approche intégrée aussi bien pour les nouvelles installations à venir que pour les infrastructures existantes. L'harmonisation optimale des besoins en matière de sûreté, de sécurisation et d'environnement fait partie de notre responsabilité sociale. Nous en faisons une priorité dans toutes nos activités.

Fernand Vermeersch

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



Un lifting pour le château d'eau

Rénovation et amélioration de l'infrastructure

Impossible de le manquer lorsque vous venez au SCK•CEN : un énorme château d'eau domine le site. Il distribue l'eau de la société de distribution d'eau potable Pidpa vers le SCK•CEN et le VITO. Le château d'eau étant en mauvais état, une rénovation s'imposait. Tinne Withofs et Kris Iven ont suivi le projet de près.

Le château d'eau a été construit dans les années 1950. Il assure une pression suffisante sur le réseau d'eau potable du site et fait également office de séparation physique entre le réseau public et celui du SCK•CEN. Cette séparation est obligatoire conformément aux règles de la société de distribution d'eau potable Pipda. Selon Kris Iven, le château d'eau est polyvalent : « Il fonctionne

non seulement comme point de distribution de l'eau potable sur le site, mais le contenu de la cuve fait également office de tampon comme réservoir de secours pour les pompiers en cas d'incendie. La réserve d'eau contenue dans le château d'eau est de 400 m³. »

Une étude réalisée par AIB Vinçotte a démontré que le château d'eau se trouvait en mauvais état à cause de la corrosion du béton, sans toutefois que cela affecte la stabilité proprement dite. Tinne Withofs ne laisse planer aucun doute : « Une intervention était nécessaire en vue de garantir le fonctionnement du château d'eau pour au moins dix ans. »

Réparation du béton

Après un appel d'offres public, le SCK•CEN a attribué le marché à la société Renotec de Geel. Avant le commencement des travaux, le château d'eau, d'une hauteur de 46 mètres, a entièrement été entouré d'échafaudages.

Le béton du côté extérieur était abîmé à plusieurs endroits. Tinne Withofs fait une synthèse des travaux effectués : « La couche de protection a été retirée, le béton instable a été enlevé et l'armature a été contrôlée. Les travaux de réparation se sont

d'abord concentrés sur l'armature, et du mortier de réparation ainsi qu'une couche d'égalisation et de protection ont ensuite été appliqués.

Les spécialistes ont également réparé le béton à l'intérieur de la cuve et du bassin tampon souterrain. Une couche de protection spéciale sur le béton protège l'eau potable de toute altération.

Amélioration de l'infrastructure

L'infrastructure technique a été rénovée en profondeur. Kris Iven : « De nouvelles conduites verticales ont été mises en place et les panneaux de la gaine de canalisation ont été remplacés. Le toit du local technique et de la cuve a été remplacé. Sans oublier l'installation d'un dispositif antichute, permettant d'assurer la sécurité du personnel lors des entretiens futurs. »

Les travaux étaient également l'occasion d'installer un nouvel escalier menant au toit et de remplacer les portes d'accès et les fenêtres dans le local technique; celui-ci a donc été rafraîchi en profondeur. Un certain nombre d'installations anciennes (hors service) ont été évacuées en vue de créer davantage de place dans la cave et dans l'espace sous la cuve.

Pas d'approvisionnement direct en vue

Les travaux de rénovation se sont déroulés de la mi-août à fin 2015, avec en dernier lieu la rénovation du bassin tampon. Le château d'eau est de nouveau opérationnel pour de nombreuses années.

La fonction du château d'eau disparaîtra probablement dans le futur lorsque l'approvisionnement en eau pourra se faire directement depuis la société de distribution d'eau potable Pidpa. Tinne Withofs se montre réaliste : « On parle ici d'un délai d'au moins dix ans. Non seulement le réseau d'eau potable et de l'eau circulant sur le site pour approvisionner les points d'eau pour les pompiers en cas d'incendie doit être rénové, mais des adaptations de la distribution d'eau potable sont également nécessaires dans tous les bâtiments. On peut dire qu'il s'agit là d'un projet à long terme. »

« Une intervention était nécessaire en vue de garantir le fonctionnement du château d'eau pour les dix prochaines années. »



Tinne Withofs, Kris Iven, Bâtiments

Une seconde vie pour le cœur battant du SCK•CEN

La station haute tension entièrement rénovée

L'installation haute tension du SCK•CEN était en service depuis 1958 et se trouvait dans l'un des plus anciens bâtiments du domaine. Après près de soixante ans, une rénovation s'imposait afin de garantir la sécurité et le bon fonctionnement de l'entreprise. A une condition importante : il ne pouvait y avoir aucune coupure de courant pendant les travaux de rénovation.

« C'est depuis toujours une évidence, l'électricité est essentielle au fonctionnement du SCK•CEN », indiquent Valentin Vandebosch et Hans Van der Veken. Ceux-ci font partie de l'équipe *Electricité*, qui a été chargée de donner une nouvelle vie au cœur battant mais silencieux du centre d'étude. « Nous y avons travaillé de décembre 2014 à octobre 2015. Nous avons constaté ci et là des signes de vieillissement dans les 33 cellules de la station et avons donc estimé qu'il était temps de passer à une nouvelle installation à vide de haute technologie. Celle-ci devrait nous offrir plus de flexibilité et de redondance. Vous ne remarquerez rien lors de la maintenance et des interventions sur le réseau électrique. »

La moindre erreur peut être fatale

La première étape – et la plus critique – fut la rénovation complète de la sous-station principale (SS1). Valentin Vandebosch souligne la difficulté de l'opération : « La moindre erreur peut être fatale. Aussi bien pour l'installation, le personnel qui y travaille que le fonctionnement de l'entreprise. Nous avons donc dû procéder à des essais

intensifs et vérifier toutes les modifications ou imperfections – une tâche loin d'être évidente quand on sait qu'au final, plus de 3200 manœuvres y sont effectuées. Nous avons également dû tenir compte de toute une série de nouvelles normes, législations et exigences en matière de tests de résistance. Seules quelques coupures ont eu lieu en journée dans une zone limitée telle que le quartier résidentiel, conformément au planning. »



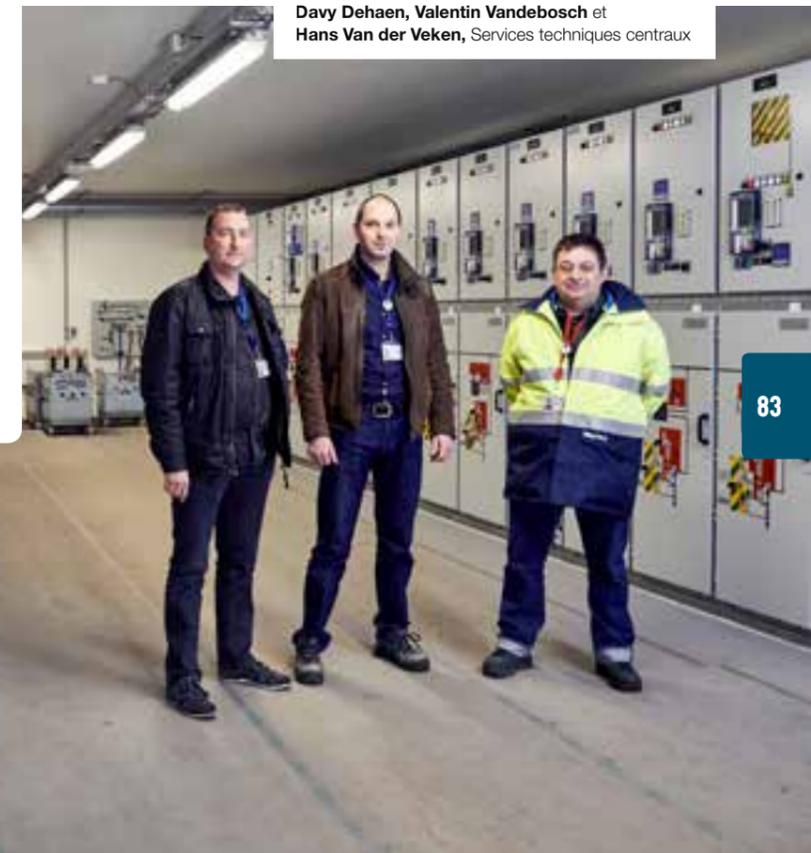
Une rénovation complète

Pour la rénovation de la station SS1, de très nombreux aspects sont entrés en ligne de compte. « Nous avons non seulement dû moderniser l'installation 10kV en elle-même, mais aussi le système d'alimentation de secours, le compartimentage coupe-feu, le paratonnerre et le système de détection et d'alerte d'incendie », explique Hans Van der Veken. « Et évidemment tout ce qui a trait à l'informatique, l'éclairage et le chauffage... Le bâtiment a été entièrement rénové. Du point de vue construction, seuls les murs et le toit ont été conservés. »

La maintenance de la sous-station s'effectuera désormais beaucoup plus facilement. Valentin Vandebosch : « Vous pouvez analyser l'état et les flux énergétiques par le biais d'une application. Cela nécessite toutefois certaines connaissances, car la SS1 alimente encore trois autres sous-stations. Il est à présent aussi possible d'enregistrer et de facturer automatiquement la consommation pour chaque bâtiment. »

« La nouvelle installation à vide de haute technologie nous offre plus de flexibilité et de redondance. »

Davy Dehaen, Valentin Vandebosch et Hans Van der Veken, Services techniques centraux



Des travaux loin d'être achevés

Le projet n'est pas encore terminé, les trois autres sous-stations vont en effet à leur tour être rénovées : « En 2016, SS2 doit être prête pour le redémarrage du réacteur BR2. Ces transformations s'effectueront également sans la moindre coupure. SS3 et SS4 seront quant à elles rénovées en 2017. Le cœur battant du SCK•CEN sera ainsi reparti pour trente ans ! »

Chiffres clés 2015

Comme nous l'avons annoncé dans L'essentiel 2014, le SCK·CEN a terminé l'exercice 2015 sur une perte importante. Cette perte s'élève à 23,7 MEUR contre un bénéfice de 11,3 MEUR en 2014. Ce moins bon résultat s'explique principalement par la réduction de 25,8 MEUR des dotations

fédérales. Sans ce poste, la perte correspond aux prévisions relatives à la rénovation du réacteur BR2, qui a généré des dépenses supplémentaires et une perte de revenus. Les produits d'exploitation exceptionnelles sont compensées par des amortissements exceptionnels et n'ont par conséquent aucun impact sur le résultat de 2015.

Après deux années exceptionnelles, le chiffre d'affaires revient au niveau de 2012. S'agissant des autres produits d'exploitation, la part relative à la diminution du précompte professionnel pour les chercheurs continue d'augmenter (6,0 MEUR).

Le financement de nos dépenses en 2015 est couvert à 37 % par les autorités fédérales.

Les charges totales du SCK·CEN ont atteint 125,1 MEUR en 2015. Les frais de personnel représentent 73,4 MEUR, soit 59 % du total ; ces dépenses sont favorablement influencées par la réduction structurelle des cotisations patronales pour la sécurité sociale (ONSS). L'augmentation par rapport à 2014 s'élève à 2,8 %. Après les augmentations des années précédentes, l'effectif a quelque peu diminué (5 collaborateurs de moins) pour s'établir à 731 membres du personnel à la fin 2015. Exprimé en équivalents temps plein, l'effectif revient au niveau de 2014, soit 691 unités.

Résumé du bilan social 2015

Nombre de travailleurs au 31 décembre 2015

	temps plein	temps partiel
Contrat à durée indéterminée	581	85
Contrat à durée déterminée	63	2
Hommes	512	46
Femmes	132	41
Travailleurs entrés en fonction	68	1
Travailleurs ayant quitté leur fonction	65	9
Nombre moyen de travailleurs	638	97
Total	644	87

Les 'achats et services', qui représentent 37 % des charges totales, ont diminué de 18 MEUR. Cette baisse est liée en grande partie au programme du Passif Technique.

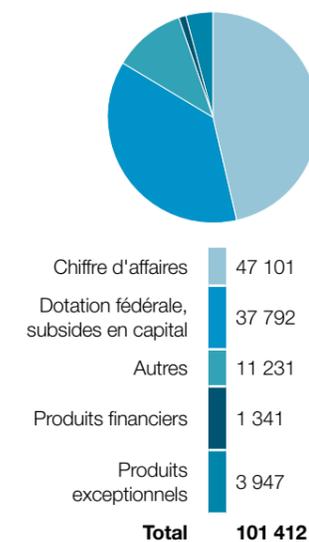
Après deux années de forte augmentation des provisions, on enregistre pour l'année 2015 une reprise ou utilisation nette de 5,6 MEUR ; ce qui signifie un écart de 18 MEUR dans le compte de résultat par rapport à 2014. Les provisions représentent 57 % du passif du bilan à la fin 2015 et couvrent essentiellement les dépenses futures pour le démantèlement et le traitement des déchets.

Bilans comparés (en kEUR)

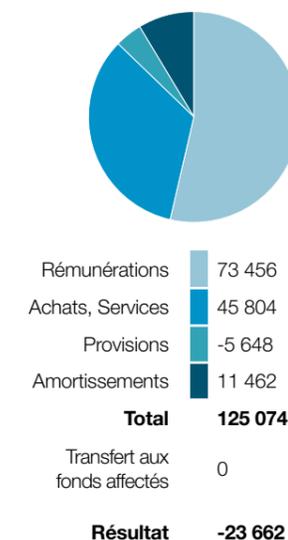
Actif	31/12/15	31/12/14
Immobilisations incorporelles	5 653	5 590
Immobilisations corporelles	49 201	42 660
Immobilisations financières	6 467	6 196
Créances à plus d'un an	585	385
Stocks, Commandes en cours d'exécution	26 870	42 777
Créances à un an au plus	32 333	28 758
Placements de trésorerie	400	4 956
Valeurs disponibles	88 226	105 896
Comptes de régularisation	576	2.932
Total	210 311	240 150

Passif	31/12/15	31/12/14
Fonds social	38 540	61 922
Provisions pour risques et charges	120 331	125 978
Dettes à plus d'un an	0	0
Dettes financières	0	0
Dettes commerciales	20 296	24 552
Acomptes reçus	19 983	17 437
Impôts, rémunérations et charges sociales	7 892	7 932
Autres dettes	8	8
Comptes de régularisation	3 261	2 321
Total	210 311	240 150

Produits 2015 (in kEUR)



Charges 2015 (in kEUR)



Les valeurs disponibles ont diminué de 22,2 MEUR pour s'établir à 88,6 MEUR fin 2015 et s'élèvent à 42 % du total du bilan. Sans la baisse de 13,9 MEUR du fonds de roulement net, la diminution aurait été plus importante.

En raison de la perte enregistrée en 2015, la part des fonds propres par rapport au total du bilan est passée de 25,8 % en 2014 à 18,3 % fin 2015.

Les dépenses d'investissement réalisées en 2015 ont atteint 18,3 MEUR. En 2015, la rénovation du réacteur BR2 a été le poste d'investissement le plus important. Le redémarrage de BR2 est prévu pour juillet 2016. Dans une perspective d'avenir, des investissements continueront aussi d'être réalisés dans la rénovation des bâtiments, la séparation physique avec VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) et la sécurisation du site. Pour les années à venir, les autorités fédérales prévoient un financement distinct de ces investissements supplémentaires liés à la sécurisation.

2015 en bref

Janvier

p56

09/01
MYRRHA reprise dans le plan d'investissement 'Junker' de la Commission européenne pour 1,5 milliard d'euros



12/01
Des scientifiques belges utilisent une nouvelle technologie dans la recherche sur les particules élémentaires



Avril

03/04
Frank Hardeman est nommé directeur général adjoint du SCK•CEN



23/04
Des écoles belges participent à une vidéo-conférence en direct avec une astronaute de l'ISS



Septembre

14/09
La vice-premier ministre chinoise Liu Yandong visite le SCK•CEN



14/09
La Ministre Marghem salue l'expertise du SCK•CEN lors de la Conférence de l'IAEA



Octobre

p20

11/10
Le ministre-président flamand Bourgeois s'intéresse aux recherches sur de nouveaux traitements médicaux



30/10
Un hélicoptère de la Défense équipé d'un appareillage de mesure lors de l'exercice du plan d'urgence



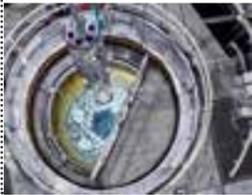
Mars

20/03
40 ans de recherche permettent de prendre une décision politique pour le stockage géologique des déchets radioactifs



p44

25/03
Lancement de la grande opération de maintenance et de rénovation du BR2



Mai

Juin

22/06
Hans Vanmarcke est nommé vice-président du comité UNSCEAR des Nations Unies



15/05

Le SCK•CEN contribue à l'amélioration de la surveillance mondiale des essais nucléaires



p17

15/09
L'Algérie consolide son expertise en technologie nucléaire par le biais d'une collaboration entre COMENA et le SCK•CEN



p56

11/10
Le Conseil des ministres fédéral a décidé d'inclure MYRRHA dans l'accord gouvernemental pour la période 2016-2017



PLUS DE NEWS SUR NOTRE SITE INTERNET

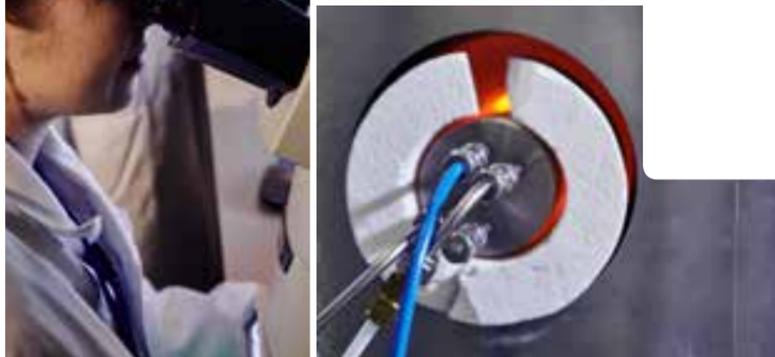
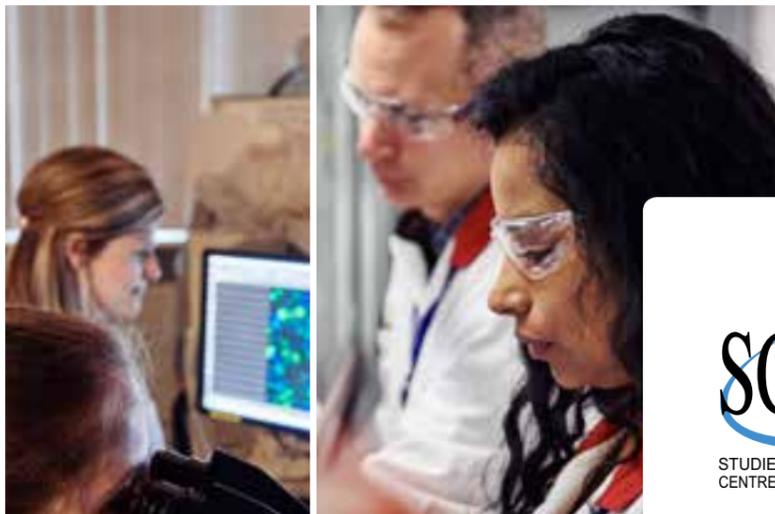


Décembre

p19

22/12
Près de 2 fois plus de participants en 3 ans pour la SCK•CEN Academy





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

l'essentiel
 2015

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 Hermann-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
 leftlane.be

Impression

Albe De Coker
 Hoboken

Copyright © 2016 – SCK • CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2016). Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable du SCK • CEN.

2015

2015

SCK•CEN

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire

60 ans d'expérience en science et technologie nucléaires

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

Trois thèmes de recherche caractérisent nos activités :

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

www.sckcen.be



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

