

l'essentiel

2011



SCK • CEN

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



“ Une approche responsable de la société ”

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



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

l'essentiel
2011



Eric van Walle

Directeur général

2

Cher lecteur

Vous pourrez découvrir dans cette brochure un certain nombre des projets importants réalisés par le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire en 2011. La réalité des faits exige toutefois que nous entamions 'L'essentiel 2011' en mode mineur. La violence des éléments qui se sont déchaînés dans le nord-est du Japon au mois de mars et l'accident qui s'est produit dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, ont choqué le monde et jeté une ombre sur 2011.

En tant qu'organisation collaborant de manière intensive avec ses collègues japonais, le SCK•CEN s'est senti fort concerné par les événements précités. Il allait aussi très rapidement apparaître que nous allions effectivement être touchés de près par les conséquences de Fukushima. Des journalistes du monde entier nous ont quasi immédiatement submergés

de questions dans leur quête d'informations et d'explications correctes ; des questions auxquelles nous avons, compte tenu de notre mission d'information, tenté de répondre au mieux. Les autorités ont elles aussi fait appel au SCK•CEN en vue, entre autres, de mesurer l'exposition aux rayonnements de voyageurs revenant du Japon. Afin de vérifier l'éventuel impact en Belgique, l'intensité et la fréquence des analyses habituelles ont en outre été augmentées de façon significative.

Le SCK•CEN a également mis son expertise à disposition sur le site de l'accident proprement dit. Je pense ici à la cartographie de la contamination de l'eau de mer et aux pronostics quant à son évolution, ou à la mise à disposition d'alternatives efficaces pour l'assainissement du sol.

Une autre conséquence de Fukushima sont les tests de résistance (stress tests), auxquels plusieurs installations du SCK•CEN sont également soumises. Depuis la mi-2011, plusieurs groupes de travail se consacrent à une analyse approfondie des fonctions de sûreté existantes. Vous pouvez vous imaginer que ceci requiert une mobilisation de main-d'œuvre et de moyens considérables afin de garantir un reporting en temps opportun à l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire. Il est encore trop tôt pour tirer



des conclusions, mais j'ai foi en les résultats et l'appréciation de cette analyse. La sûreté est toujours la priorité numéro un dans le monde du nucléaire, et donc aussi pour le SCK•CEN, où la recherche continue de l'amélioration de la sécurité des travailleurs et de l'environnement constitue l'un des fondements de la culture de sûreté.

Ce qui s'est passé à Fukushima donne à réfléchir. Une constatation qui s'applique a fortiori à nos collaborateurs. Après un événement tel que celui-là, nous continuons systématiquement à passer les procédures et techniques existantes au crible. Le plan de notre futur réacteur MYRRHA a de nouveau fait l'objet d'un examen critique. Un certain nombre de mesures supplémentaires ont été prises, mais la conclusion finale est que nos concepteurs et ingénieurs ont à l'époque déjà opéré les bons choix innovateurs, permettant à l'installation de faire face à une succession d'événements extrêmes.

Mais – soyez-en convaincu(e) – 2011 a également compté de nombreux points forts. L'un de ceux-ci a même constitué une première mondiale absolue. Dans le cadre du projet GUINEVERE, un accélérateur de particules a pour la première fois au cours de l'automne été branché à un réacteur au cœur entièrement composé de plomb. Cette première mondiale réussie prépare le terrain pour la procédure d'agrément de MYRRHA.

Dans l'attente de MYRRHA le BR2 reste l'un des réacteurs de recherche les plus performant au monde et un instrument indispensable, aussi bien pour la recherche que pour la production de radio-isotopes médicaux. Continuer à garantir cet approvisionnement et passer à l'uranium faiblement enrichi en tant que combustible, un engagement contracté dans le cadre de la non-prolifération, représente un grand défi technologique. En 2011, les principales démarches ont été entreprises en vue de la réalisation de ces objectifs.

L'utilisation du rayonnement ionisant en médecine ne cesse de gagner en importance. Grâce à un diagnostic précoce à l'aide de l'imagerie médicale ou à une radiothérapie couronnée de succès, le nombre de vies pouvant être sauvées augmente sans arrêt. Cette évolution rend également l'étude des effets de l'exposition à de faibles doses de rayonnement de plus en plus pertinente. Le SCK•CEN étudie par exemple depuis longtemps déjà les effets des radiations sur le cerveau. En raison de cette expérience et de la présence de l'infrastructure adéquate, le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire coordonne un nouveau projet européen ambitieux dans ce domaine. L'étude doit conduire à une meilleure compréhension et à la poursuite de l'optimisation des doses

“ 2011 a été une année mouvementée. Mais, nous sommes une nouvelle fois parvenus à franchir quelques étapes importantes. ”

auxquelles sont exposés les patients, en particulier les embryons dans l'utérus.

En ce qui concerne l'effectif du personnel, le SCK•CEN a de nouveau connu un pic de croissance en 2011. Grâce au renforcement de l'équipe MYRRHA, entre autres, le Centre compte à présent 700 collaborateurs. Un projet de rénovation de grande ampleur est en cours, en vue d'offrir un lieu de travail confortable à l'ensemble du personnel. En 2011, la rénovation des ailes du bâtiment BR1 a notamment été achevée. Les bureaux et les laboratoires ont subi de profondes rénovations dans le respect de l'architecture remarquable des années cinquante. Un maximum de techniques et de matériaux écoénergétiques ont été utilisés pour la rénovation, ce qui permet aujourd'hui de consommer pas moins de quatre fois moins d'énergie.

2011 a été une année mouvementée qui a requis des efforts particuliers de la part de nos collaborateurs. Je me réjouis toutefois de pouvoir vous montrer que nous sommes une nouvelle fois parvenus à franchir quelques étapes importantes en direction de la réalisation de notre mission, avec notamment le développement de solutions durables pour les défis du passé, du présent et du futur. Je vous souhaite une excellente lecture.

Eric van Walle,
Directeur général





01	La sûreté comme priorité absolue	06
02	Recherches ouvrant	16
03	Systèmes de réacteur innovants	38
04	BR2 : le moteur de l'innovation durable	56
05	2011 : une année de rénovations et d'expansion	68





**La sûreté
comme priorité
absolue**

01

Sûreté et prévention après Fukushima

Tests de résistance en pleine préparation

Suite à l'accident qui s'est produit au sein de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, l'Europe a décidé de soumettre les centrales nucléaires européennes à des tests de résistance. La Belgique a étendu ces tests à toutes les installations nucléaires de classe I. Plusieurs installations du SCK•CEN sont concernées.

Après les exigences relatives aux centrales nucléaires, l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN) a également publié en juin 2011 les spécifications des tests de résistance pour les autres installations nucléaires. Ces spécifications sont également imposées au SCK•CEN et sont en grande partie identiques aux exigences auxquelles sont soumises les centrales nucléaires. L'objectif final

des tests de résistance est de vérifier comment réagissent les différentes fonctions de sûreté d'une installation dans des circonstances exceptionnelles et surtout en cas de combinaison de plusieurs événements extrêmes. Le dramatique accident qui s'est produit à Fukushima était plus exactement dû à la conjonction de trois éléments : un tremblement de terre, un tsunami et une panne d'électricité et des générateurs de secours. La Belgique a également imposé une analyse de la protection contre les menaces causées par l'homme, lesdits 'man made events', tels qu'un crash d'avion ou une attaque cybernétique.

Plus qu'une question technique

Une commission multidisciplinaire d'experts a été constituée au sein du SCK•CEN en vue de l'exécution des tests de résistance. La première tâche de cette commission consistait à cartographier les installations du SCK•CEN qui sont soumises aux tests de résistance. Il est rapidement apparu qu'il s'agissait d'une partie très importante du Centre. Plusieurs groupes de travail ont entamé une analyse approfondie des fonctions de sûreté existantes.

ANALYSES DE SÛRETÉ : PAS UNE NOUVEAUTÉ

C'est la première fois que les installations du SCK•CEN subissent des tests de résistance. Mais les évaluations approfondies de la sûreté ne datent pas d'aujourd'hui. Le SCK•CEN est en effet soumis par la loi à une révision de la sûreté devant avoir lieu tous les 10 ans. Dans ce cadre, les dispositifs de sûreté des différentes installations sont examinés et améliorés quasi continuellement. Les points qui étaient repris dans le contrôle précédent seront parachevés fin 2012. Les préparatifs de la prochaine révision décennale ont dans l'intervalle été entamés.



Fernand Vermeersch

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



“ Même si aucun test de résistance n’était imposé au SCK•CEN, nous n’aurions pas non plus manqué d’examiner ce qui s’est exactement passé à Fukushima, et si les systèmes de sûreté de nos installations seraient en mesure de faire face à de tels événements. Tirer des leçons d’incidents et d’événements en vue d’améliorer sans cesse la sûreté est un élément fondamental de notre approche en matière de sûreté. ”

Les tests permettront d'examiner quels 'initiating events' ou événements déclencheurs peuvent avoir un impact sur les installations. L'accent est avant tout mis sur la prévention de certains effets. Dans un deuxième volet de la mission, il est supposé qu'un événement grave se produit. Dans ce cas, il est surtout important de vérifier de quelle manière les effets peuvent être limités au maximum et ce, le plus efficacement possible.

Les groupes de travail englobent quasi toutes les disciplines actives au sein du SCK•CEN. Sur le plan technique, le savoir-faire relatif aux caractéristiques des réacteurs, mais aussi aux installations d'utilité publique et à la stabilité des bâtiments, est présent. De plus, un bon aperçu de l'organisation du travail et de la communication au sein des différentes installations est important et ce, aussi bien lors de l'exploitation normale que dans des conditions exceptionnelles.

Que faire si ... ?

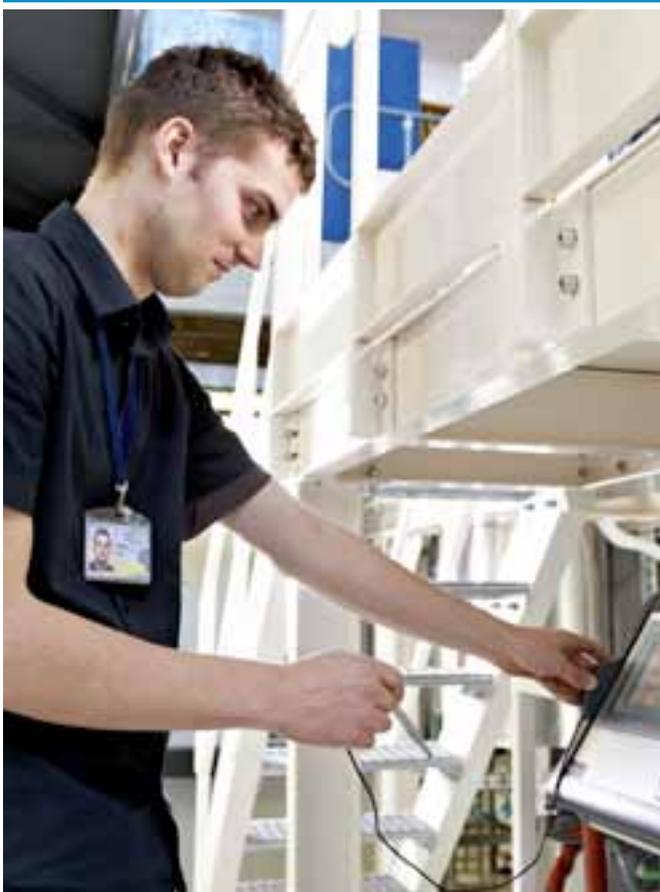
Le 15 décembre 2011, le SCK•CEN a remis un rapport d'avancement à l'AFCN. Ce rapport décrivait la méthodologie

qui sera suivie par le Centre d'Etude pour l'Energie Nucléaire lors de l'exécution des tests de résistance. Mises à part quelques adaptations minimales, l'AFCN a approuvé le rapport d'avancement. Les analyses effectives avaient déjà été entamées dans l'intervalle. Depuis septembre 2011, l'incidence de tous les événements déclencheurs sur les diverses installations, est étudiée. Il s'agit de tremblements de terre très puissants, de graves inondations et d'autres conditions atmosphériques extrêmes, d'événements liés à l'activité humaine, d'incendies de forêt, de l'émission de gaz toxiques et d'explosions. L'étude ne se limite pas non plus à une pure analyse technique. La réaction à une situation d'urgence est également passée au crible. L'accident de Fukushima offre à cet égard d'importantes nouvelles perspectives qui serviront de base à l'évaluation et, le cas échéant, à la consolidation des procédures d'urgence actuelles.

Il a été fait appel à des bureaux d'étude externes pour certaines analyses, mais les services du SCK•CEN procèdent eux-mêmes à la majorité de celles-ci. Ce qui demande bien entendu un énorme effort aussi bien en termes d'engagement que de main-d'œuvre. Les tests de résistance se déroulent en étroite collaboration avec les autorités de sûreté (AFCN et Bel V) et l'analyse est conforme au planning. Le SCK•CEN fournira au plus tard le 30 juin 2012 à l'AFCN le rapport final sur les tests de résistance.

TEST DU PLAN D'URGENCE NUCLÉAIRE

Le 15 décembre, le plan d'urgence nucléaire du SCK•CEN a été testé. Le scénario de l'exercice prévoyait une fuite à l'intérieur du réacteur BR2 et un accident quasi simultané chez Belgoprocess, l'entreprise voisine de traitement des déchets radioactifs. L'exercice recouvrait la mise à l'épreuve des plans d'urgence fédéral, provincial et communal, ainsi que des procédures d'urgence internes du SCK•CEN et de Belgoprocess. L'évaluation globale de l'exercice de plan d'urgence regroupant tous les services et toutes les autorités s'achèvera au printemps 2012. Le SCK•CEN a d'ores et déjà attribué une évaluation positive à la réaction et à l'organisation internes.



Prévention et gestion de la sûreté

La santé au travail dans un environnement sûr

En 2011, le Service Interne pour la Prévention et la Protection au Travail (SIPPT) a placé les thèmes de la prévention et de la sûreté à l'honneur. Dans le cadre d'une gestion globale de la sûreté, le SIPPT analyse les installations et les conditions de travail, formule des recommandations et contrôle la mise en application de celles-ci. Une autre tâche consiste à conscientiser les collaborateurs aux divers risques liés au travail et à leur proposer des solutions en vue de les prévenir.

En avril 2011, le SIPPT était en plein sous les feux des projecteurs lors d'un 'meet & greet' au cours duquel tous les collaborateurs du SCK•CEN ont pu découvrir les différentes activités du SIPPT. Les unités Contrôle physique ; Sûreté industrielle et Environnement ; Sécurisation, Service de Gardiennage et Contrôle d'Accès ; Sûreté Nucléaire et Surveillance médicale Interne se sont présentées lors d'une expo attrayante. Des conseils pratiques ont également été dispensés aux visiteurs, notamment pour le travail sur écran de visualisation. Afin d'attirer chaque jour l'attention sur le message de prévention, des tapis de souris ont été distribués sur lesquels figurent également les numéros d'urgence et les signaux d'alarme.

Le meet & greet a sans aucun doute contribué à une meilleure connaissance des fonctions et des tâches du SIPPT, ce qui était aussi l'un des principaux objectifs du plan d'action interne sur la culture de sûreté.





ALARA en pratique

La sûreté est la priorité absolue en cas de travaux dans les installations de haute activité

ALARA est l'adage pour toutes les opérations dans le secteur nucléaire. L'acronyme d'As Low As Reasonably Achievable indique la manière dont il convient de traiter les risques d'irradiation. Ceux-ci doivent être à tout moment les plus bas possible. En 2011, quelques projets particuliers ont été entamés au SCK•CEN, ALARA obligeant les ingénieurs et les chercheurs à repousser les limites. Ce qui demande souvent une bonne dose de vision et de créativité.



Cellule chaude M2

ALARA et une approche efficace main dans la main

La cellule chaude M2 est un bunker de 3 mètres sur 3 et de 5 mètres de haut. Les parois ont plus ou moins un mètre d'épaisseur et sont composées de béton et de plomb. La cellule date de 1977 et a été utilisée pour des essais destructifs sur du combustible et sur des éléments hautement actifs du cœur du réacteur et du circuit primaire des centrales nucléaires. Elle contient des déchets historiques et non standardisés. Des valeurs alpha, bêta et gamma élevées ont été mesurées à l'intérieur de la cellule. Celle-ci présente également un certain nombre de défauts mécaniques. Plusieurs sas sont bloqués. La cellule chaude doit à nouveau être opérationnelle d'ici quelques années car elle joue un rôle clé dans le contrôle et la classification des composants et matériaux des installations nucléaires telles que les centrales et MYRRHA.

La sûreté par la créativité

Pour cette opération, une équipe multidisciplinaire a été constituée, comprenant des spécialistes de l'unité Démantèlement et Décontamination, du Laboratoire de Haute et de Moyenne Activité et du service Contrôle physique. L'équipe du SCK•CEN est renforcée par des collègues de Belgoprocess qui ont une vaste expérience dans le domaine des télémanipulateurs. En raison de la haute activité dans la cellule, elle n'est actuellement pas accessible aux opérateurs. Après la mesure minutieuse du taux de rayonnement début 2011, les premières réparations de la cellule ont été entamées. A l'origine, il y avait une ouverture d'à peine 18 cm, pour faire pénétrer les outils à l'intérieur de la cellule. La créativité de l'équipe a été mise à l'épreuve à cet égard. Les membres de l'équipe ont dû développer un grand nombre d'outils, tels que des foreuses entièrement démontables et des porte-scies pliables, qui devaient à chaque fois être assemblés de façon stable dans la cellule. L'équipe est ainsi parvenue à réparer le sas d'accès principal et la ventilation. Les premiers déchets radioactifs ont aussi peu à peu pu être évacués. Les grandes pièces, telles qu'un tour et une fraiseuse, ont été sciées en petits morceaux à distance à l'aide de télémanipulateurs en vue d'une évacuation ultérieure.

ALARA, partout et toujours

Chaque opération fait préalablement l'objet d'une planification minutieuse et d'une description détaillée, y compris en ce qui concerne les mesures de sécurité nécessaires. Des solutions alternatives sont également étudiées pour chaque action. Chaque manipulation fait en outre l'objet d'essais dits à blanc

sans matière nucléaire. Dans le cadre du principe ALARA, les interventions sont limitées au minimum, y compris celles des opérateurs. Ce principe s'applique à tous les stades : le découpage, le transfert vers un fût de déchets et l'évacuation. La protection du personnel et la dose par opération sont calculées à l'aide de Visiplan, un progiciel développé par le SCK•CEN. Plusieurs caméras ont également été installées autour de la cellule chaude en vue d'observer et d'optimiser la sécurité des opérations.

Distance de sécurité

L'un des choix les plus importants à opérer consistait à miser au maximum sur la manipulation à distance. Grâce à l'utilisation de manipulateurs et d'une passerelle, le panier servant à l'évacuation des déchets ne doit plus être rempli manuellement. Des pinces mécaniques ne nécessitant pas d'entretien ont été développées et fabriquées à cet effet. La face supérieure de la cellule a été adaptée pour une évacuation des déchets sans risque. Les déchets sont hissés hors de la cellule à l'aide de paniers et placés dans des fûts via des sas sécurisés. Le système a été conçu de façon à minimiser les manipulations lors du transfert, ce qui réduit les risques. Dans une phase ultérieure du projet, lorsque l'irradiation dans la cellule a déjà diminué suite à l'évacuation des déchets, un suivi en temps réel de la dose reçue est prévu à distance. Une télécommunication sans fil est également prévue entre les opérateurs et la personne qui coordonne l'opération de l'extérieur, ce qui est un véritable défi dans une cage de Faraday. Le but est que la cellule soit à nouveau pleinement opérationnelle en 2016.

CALLISTO

Moins irradiante après un grand nettoyage

Une installation particulière est soigneusement dissimulée dans le réacteur BR2. La boucle CALLISTO est une simulation fidèle d'un réacteur à eau pressurisée, tel que celui des centrales électriques de Doel et de Tihange. L'installation permet notamment de faire des prévisions concernant le comportement de matières dans ces réacteurs. Mais à chaque avantage son inconvénient ...

CALLISTO est composé de trois canaux qui sont utilisés pour mener des expériences, telles que l'essai de combustibles ou de matériaux. Ces expériences sont réalisées à une température de 300 °C et une pression de 150 bars, soit exactement les mêmes conditions que dans un réacteur à eau pressurisée ou PWR (Pressurized Water Reactor). Grâce à la parfaite similitude, les mêmes produits de corrosion que dans un réacteur PWR normal apparaissent également dans CALLISTO. Ces produits circulent dans la boucle et finissent par se déposer dans les tuyaux, formant une fine couche d'oxyde. En passant au travers du cœur du réacteur, certains de ces produits de corrosion, tels que le cobalt, sont activés, de sorte qu'une grande radioactivité se développe dans le circuit au fil des années. Ce phénomène entraîne une irradiation supplémentaire dans l'environnement immédiat.

Deux fois plus rapide, y compris en termes de contamination

Un autre problème est que CALLISTO simule à vrai dire trop bien les conditions présentes dans un réacteur à eau

pressurisée. Le flux de neutrons dans le réacteur BR2 est beaucoup plus important, ce qui entraîne également l'apparition d'un plus grand nombre de produits d'activation. C'est ainsi que 10 années d'exploitation de la boucle CALLISTO correspondent au même niveau d'activité que 20 années d'exploitation d'un réacteur PWR normal. Depuis la mise en service effective au début des années '90, le débit de dose autour des différentes composantes n'a cessé d'augmenter ainsi que, parallèlement, la dose collective pour les personnes qui travaillent sur la boucle. Suite à la révision décennale de sûreté précédente, il a été décidé que l'exposition du personnel devait être réduite.

L'option la plus difficile

Trois options étaient possibles. La première consistait à placer une protection supplémentaire autour des composantes. Mais l'installation de cette protection exposerait également le personnel à une dose élevée, et la mise en place d'une grande quantité de plomb rendrait l'accès à certains éléments difficile. La deuxième option consistait à réduire l'exposition du personnel en restreignant la durée de leur présence auprès de CALLISTO. Compte tenu de l'environnement de travail étroit et des tâches de maintenance obligatoires, cette option était toutefois peu réaliste. Conformément au principe ALARA, une seule solution subsistait, à savoir une diminution de la contamination par l'enlèvement de manière sélective, au moyen d'une décontamination chimique, de la couche d'oxyde et des produits de corrosion activés qui s'y étaient déposés. Un procédé chimique similaire est également utilisé dans les réacteurs PWR industriels. En raison des propriétés uniques de CALLISTO et de l'échelle réduite, les experts du



SCK•CEN ont eux-mêmes réalisé cette opération. Il faut dire qu'ils avaient déjà à leur actif l'expérience, unique, du démantèlement et de la décontamination inhérente du réacteur BR3.

Dissolution, circulation et concentration

Le procédé chimique assure un enlèvement sélectif de la couche d'oxyde sans nuire au métal sous-jacent. En 2006, la couche d'oxyde a été étudiée de manière approfondie, de sorte que l'on disposait d'informations claires sur l'épaisseur (en microns) et la composition de celle-ci. Les niveaux de contamination ont également été définis. Il était ainsi possible de calculer la quantité de fer, de nickel et de chrome (les principaux produits de corrosion) qui devait être dissoute par procédé chimique pour une décontamination efficace. Le procédé chimique proprement dit repose sur l'utilisation cyclique de permanganate et d'acide oxalique à température élevée. Les produits de corrosion dissous doivent être tenus en solution au maximum et circuler à travers un échangeur d'ions. Les résines de l'échangeur d'ions retiennent les produits de corrosion dissous, ainsi que l'activité, et sont finalement évacuées sous la forme de déchets radioactifs solides concentrés.

Dans le cadre d'ALARA, un grand nombre de simulations ont été réalisées pour déterminer le niveau de protection qui était nécessaire autour de ces colonnes de résine. Un système permettant de transférer le contenu des hautes colonnes de résine vers un fût de déchets sans devoir effectuer d'opérations complexes entraînant une augmentation de la dose, a été développé pour l'évacuation des résines. L'évacuation des déchets vers Belgoprocess a elle



aussi minutieusement été préparée au cours de la phase de conception. Après l'étude de faisabilité, le développement et l'établissement des procédures de travail nécessaires, l'installation a fait l'objet d'essais approfondis en juin et juillet 2011, et les opérateurs ont entamé leur formation. L'installation de décontamination a ensuite été branchée à CALLISTO, avec l'exécution des tests d'étanchéité et fonctionnels nécessaires. Début septembre, l'AFCN a donné son feu vert pour l'opération. Le nettoyage proprement dit a eu lieu en octobre durant une semaine, avec trois équipes de trois personnes travaillant en continu, soutenues par un contrôle de l'irradiation et les collaborateurs permanents.

Plus propre mais surtout plus sûr

Après l'exécution réussie des cycles de décontamination, le débit de dose a fortement baissé, avec en moyenne une diminution d'un facteur 2 à 2,5. Au total, 3 à 4 micromètres de la couche d'oxyde ont été mis en solution et évacués via les résines. La quantité d'activité évacuée de la sorte correspond parfaitement aux objectifs fixés. ALARA permet rarement d'opter pour la solution la plus simple, mais grâce à une préparation minutieuse et à une exécution méticuleuse de cette opération de nettoyage, la dose pour le personnel présent sera désormais nettement inférieure.





Recherches ouvrant

de nouvelles perspectives
pour une protection
optimale de l'homme
et de l'environnement

02



Frank Hardeman

Directeur d'institut
Environnement,
Santé et Sûreté

“

Une catastrophe telle que le tsunami qui a ravagé le Japon et les événements qui ont touchés Fukushima doivent donner une leçon d'humilité aux hommes mais aussi et surtout les inciter à faire encore mieux dans le futur pour éviter de telles catastrophes. Nous devons faire en sorte, au sein du SCK•CEN, de continuer à conserver les connaissances et les moyens nécessaires pour pouvoir soutenir la population, les autorités et l'industrie de manière fiable en cas de problème survenant où que ce soit dans le monde.

”

Fukushima et le rôle du SCK•CEN

Expertise au service de la population et des autorités

Dès le moment où l'accident de Fukushima Daiichi a fait la une de l'actualité mondiale, le SCK•CEN a été submergé de questions venant d'un peu partout. Les autorités également, voulaient des réponses.

Lorsqu'il est apparu que la situation dans et autour de la centrale nucléaire touchée était très grave, un rapatriement volontaire de compatriotes a été organisé en Belgique. Il a été fait appel au SCK•CEN pour mesurer bénévolement l'éventuelle contamination interne ou externe des personnes revenant du Japon.

Parce que l'information en provenance du Japon était au départ très restreinte, les autorités ont décidé de mettre sur pied une campagne de mesure de la radioactivité à l'Hôpital militaire de Neder-Over-Heembeek. Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire et l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN) ont uni leurs forces à cet effet. Pendant une semaine, toutes les personnes revenant du Japon pouvaient se faire examiner sur base volontaire par des spécialistes en dosimétrie. 14 personnes ont fait contrôler leur glande thyroïde au niveau d'éventuelles traces d'iode radioactif. Aucune personne ne présentait de trace de radioactivité. Après une semaine, la campagne de mesure s'est poursuivie au SCK•CEN à Mol. Au cours des mois qui ont suivi, une dizaine de mesures de la glande thyroïde ont encore eu lieu. Une trentaine de personnes ont subi un examen du corps entier dans l'installation unique du service Anthropogammamétrie. Lors de ces mesures effectuées dans une cellule blindée, aucune contamination ne passe inaperçue. Notamment un grand nombre de membres de la presse, ayant séjourné dans les environs de

la zone sinistrée, se sont fait examiner au cours de cette période. Des traces de radioactivité résultant manifestement de leur séjour dans la région ont été découvertes chez un nombre limité de personnes. Les valeurs mesurées étaient toutefois si faibles qu'elles n'avaient absolument aucun effet sur leur santé.

Mesures supplémentaires en Belgique

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire joue un rôle spécifique dans le plan d'urgence au niveau fédéral. Après l'accident de Fukushima, le plan d'urgence national n'a pas été déclenché, mais les autorités ont toutefois demandé la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures. L'AFCN dispose d'un programme de surveillance qui est en majeure partie mis en œuvre par le SCK•CEN, dans le cadre duquel des mesures de la radioactivité sont effectuées dans l'air, dans les aliments, dans le sol et dans l'eau. Dans les mois qui ont suivi l'accident, le groupe d'expertise Mesures de faible Radioactivité a procédé à toute une série de mesures complémentaires. Des traces d'iode et de césium radioactifs ont été détectées après le passage du nuage radioactif en provenance du Japon. Les niveaux mesurés étaient toutefois si bas que l'on peut affirmer avec certitude



en Belgique qu'il n'y a aucune incidence sur l'homme et sur l'environnement. Le SCK•CEN a également contrôlé, à la demande de l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA), des échantillons supplémentaires de produits alimentaires importés du Japon.

À la demande de Greenpeace, le groupe d'expertise Mesures de faible Radioactivité a analysé des échantillons d'algues marines et de poissons de mer. Ces échantillons ont été prélevés lors d'une mission du Rainbow Warrior en mai 2011 dans les eaux côtières au large de Fukushima. La limite en matière d'iode et de césium radioactifs était dépassée pour un grand nombre d'échantillons.

L'unité Gestion de Crise et Aide à la Décision du SCK•CEN dispose de modèles de dispersion et de dose permettant de cartographier les niveaux de contamination et d'exposition dans la

zone touchée. Ces calculs types ont également pu être comparés à la dispersion effectivement mesurée de la radioactivité. Cette comparaison permet de continuer à améliorer ces modèles pour le futur. Le groupe étudie également la réaction des autorités japonaises en matière d'évacuation et autres mesures de crise.

Une solution alternative pour les sols contaminés

Des experts du SCK•CEN examinent également la situation sur place. L'unité Etude d'Incidents sur la Biosphère a, notamment grâce à une étude approfondie de l'accident de Tchernobyl, développé une grande expertise dans le domaine du comportement des radionucléides dans l'environnement et dans les techniques de remédiation. Après l'accident de Fukushima, le SCK•CEN a mis cette expertise à la disposition des collègues japonais.

Le sol dans la région autour de la centrale nucléaire contient du césium-137 et du césium-134. Le césium-134 a une période radioactive de 2 ans et n'aura, après 10 ans, qu'un impact très limité, voire aucun impact. En revanche, le césium-137, dont la demi-vie est de 30 ans, requiert une approche dynamique sur une longue période. Au Japon, l'accent est mis aujourd'hui sur le déblaiement et la décontamination du sol. Des experts du SCK•CEN voient un salut possible dans d'autres techniques. Les activités de déblaiement et d'évacuation génèrent une



quantité importante de déchets. Des contre-mesures permettent d'éviter le problème lié aux déchets. En fonction du type de sol et du niveau de contamination, retourner la terre en profondeur peut offrir une solution, de même que fertiliser le sol à l'aide de potassium, ce qui diminue en général l'absorption de césium par les plantes. Une autre solution consiste à cultiver des plantes qui absorbent très peu de césium. Si la concentration de césium dans les cultures vivrières était encore trop élevée, il serait encore possible de cultiver des plantes qui ne sont pas utilisées pour la consommation alimentaire, mais pour leurs fibres ou la production d'énergie. Des experts du SCK•CEN partageront ces idées avec les collègues japonais. La question de savoir si cette approche sera bien accueillie dépend en grande partie de la façon dont les autorités et la population percevront ces contre-mesures.

L'unité Etude d'Incidence sur la Biosphère a développé pour cinq chercheurs japonais, en collaboration avec la KU Leuven, une formation sur la caractérisation des sols japonais en termes de sensibilité à l'absorption de césium par les plantes. Le SCK•CEN offre également la possibilité à un étudiant japonais de passer en Belgique sa thèse de doctorat sur l'étude de la sensibilité des sols japonais au transfert du césium aux cultures vivrières. Les deux initiatives se font en collaboration avec la KU Leuven et ont notamment été rendues possibles grâce au soutien du Gouvernement flamand.

Appui aux Nations Unies

Le SCK•CEN est étroitement impliqué dans une étude approfondie des niveaux d'irradiation dans et autour de Fukushima et des effets de ceux-ci. Cette étude est menée par une vaste équipe de chercheurs pour le compte du comité UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) des Nations Unies. Des experts de différentes disciplines conduisent cette étude en collaboration avec les autorités japonaises. Le SCK•CEN apporte une contribution importante à l'étude de l'impact sur l'écosystème marin. Parce que des eaux radioactives ont pendant longtemps été déversées en mer, une grande attention est accordée à l'examen de l'eau de mer. Dès que l'on aura une idée précise des niveaux de contamination, il sera possible de procéder à une estimation des effets sur la faune et la flore à court et à long terme. Sur la base des premiers résultats, il n'est pas exclu que la reproduction de certains organismes soit affectée. La vérification de ces constatations requiert des activités d'observation et de suivi.

Dans l'intervalle, la pollution s'est étendue. Peu après l'accident, des valeurs élevées ont été mesurées en mer, mais après un mois, la plupart des radionucléides à vie courte avaient disparu et il ne subsistait principalement que du césium et de l'iode. Un autre problème est que, suite au tremblement de terre et au tsunami, une autre pollution non radioactive a affecté la mer. Il s'agit d'un mélange complexe de plusieurs substances, ce qui fait en sorte qu'il est très difficile d'en évaluer correctement les effets. Le SCK•CEN dispose d'une grande expertise dans le domaine des modèles dynamiques d'absorption de radionucléides dans la faune et la flore marine. Ces modèles revêtent une grande valeur aujourd'hui parce qu'ils permettent de faire des prévisions fiables. Dans le courant de 2013, un rapport complet sera présenté à l'Assemblée générale des Nations Unies.



Aide au Japon

Même si le Japon n'a pas demandé une aide directe au Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire en 2011, l'accident qui s'est produit au sein de la centrale nucléaire de Fukushima a, fortement influencé le travail de dizaines de chercheurs et autres collaborateurs du SCK•CEN. Fukushima restera aussi encore pendant longtemps un sujet d'étude important pour Hildegarde Vandenhove, Jordi Vives i Batlle et Johan Camps.

Interview avec
Jordi Vives i Batlle (à gauche),
radio-écologiste marin,
Hildegarde Vandenhove (au milieu),
directeur adjoint d'institut Environnement,
Santé et Sûreté et responsable de
l'Etude d'Incidences sur la Biosphère,
Johan Camps (à droite),
responsable de la Gestion
de Crise et Aide à la Décision



Quelle a été votre première réaction quand vous avez entendu la nouvelle ?

Jordi Vives i Batlle: J'ai tout de suite su que cet événement aurait une grande influence sur mon job en tant que radio-écologiste marin parce qu'il s'agissait probablement de l'un des accidents les plus graves incluant des déversements dans la mer. Et cela s'est avéré exact. À Tchernobyl, il n'y a pas eu de déversements directs dans la mer. Mais à Fukushima, le vent soufflait principalement en direction de l'océan, ce qui en a fait le premier accident nucléaire incluant d'importants déversements en bordure de mer.

Hildegarde Vandenhove: Si on m'avait demandé d'offrir mon aide sur place à ce moment, je l'aurais fait. L'irradiation se mesure et on peut donc contrôler la dose d'irradiation absorbée. Seuls les tremblements de terre me faisaient encore peur, et je me demandais si l'état des

“ *En matière de plan d'urgence également, Fukushima constitue un cas d'étude dont on tirera de nombreuses leçons.* ”

réacteurs était suffisamment stable. Mais on a l'expertise et on se sent concerné par la population et les scientifiques au Japon.

Vous vous êtes finalement quand même rendue au Japon ?

Hildegarde Vandenhove: En effet. J'avais été invitée pour animer des ateliers sur le thème des leçons de Tchernobyl et sur celui de la pollution de l'environnement et des possibilités de remédiation. Je me suis rendue à Tchernobyl six ans après l'accident, à Fukushima, c'était à peine six mois plus tard. On est là pour mesurer la diffusion de la radioactivité mais on est aussi confronté à l'inquiétude de la population. J'avais le sentiment, en tant que scientifique, compte tenu du degré de contamination, qu'il existait d'autres possibilités de remédiation que le déblaiement et le stockage de la couche de sol polluée. Mais la population est-elle prête à consommer des plantes alimentaires provenant de la région sinistrée, même si les concentrations de césium sont inférieures à la norme alimentaire ? Une alternative est d'opter pour des plantes non alimentaires, comme les plantes cultivées pour la production de bioénergie ou les plantes textiles. Grâce à certains processus de traitement, il n'y aurait qu'une infime, voire aucune contamination dans les produits finis. Mais l'aversion pour la contamination est grande et la question est donc de savoir si la population est prête à utiliser ces produits. Les gens ne veulent pas de lait dont les niveaux de contamination sont inférieurs à la limite alimentaire, ils veulent du lait sans césium. C'était l'une des choses les plus frappantes. En tant qu'expert, on observe la situation en partant du principe du risque acceptable et on pense peut-être que leur approche n'est pas optimale. Mais imaginez que nous vivions la même chose en Belgique. Comment réagirions-nous si nous avions le choix entre des pommes de terre sans césium et des pommes de terre contenant un peu de césium ?

La catastrophe de Fukushima permettra-t-elle d'ouvrir de nouvelles perspectives à court ou à long terme ?

Hildegarde Vandenhove: Il peut en effet en résulter un grand nombre d'informations qui pourront être utilisées dans le cadre





d'études futures. Le problème est que le Japon est loin et que le pays garde ses frontières assez fermées. Sinon nous serions encore beaucoup plus impliqués.

Johan Camps: En matière de plan d'urgence également, Fukushima constitue un cas d'étude dont on tirera de nombreuses leçons. L'une des principales idées est que le plan d'urgence nucléaire doit aussi pouvoir fonctionner après une catastrophe naturelle très grave. En cas d'accident, il s'agit de mettre le plus rapidement possible en œuvre des mesures permettant de suivre le nuage et de déterminer l'exposition des riverains et la contamination de l'environnement. Mais cette approche nécessite des instruments et aussi souvent de l'électricité. Il n'y avait plus d'électricité à Fukushima, ce qui fait que de nombreux moyens n'étaient plus disponibles au moment où de la radioactivité s'est échappée de la centrale. Si un accident nucléaire résulte d'une grande catastrophe naturelle, les moyens disponibles seront-ils suffisants et pourront-ils encore être mis en œuvre ? Cette question fondamentale est le point de départ de ce que l'on pourrait appeler le test de résistance du plan d'urgence.

Jordi Vives i Batlle: Il y a toujours des leçons à tirer des accidents du passé. On peut utiliser ces connaissances pour mieux se préparer à de nouvelles catastrophes, même si on espère qu'elles ne se produiront jamais.

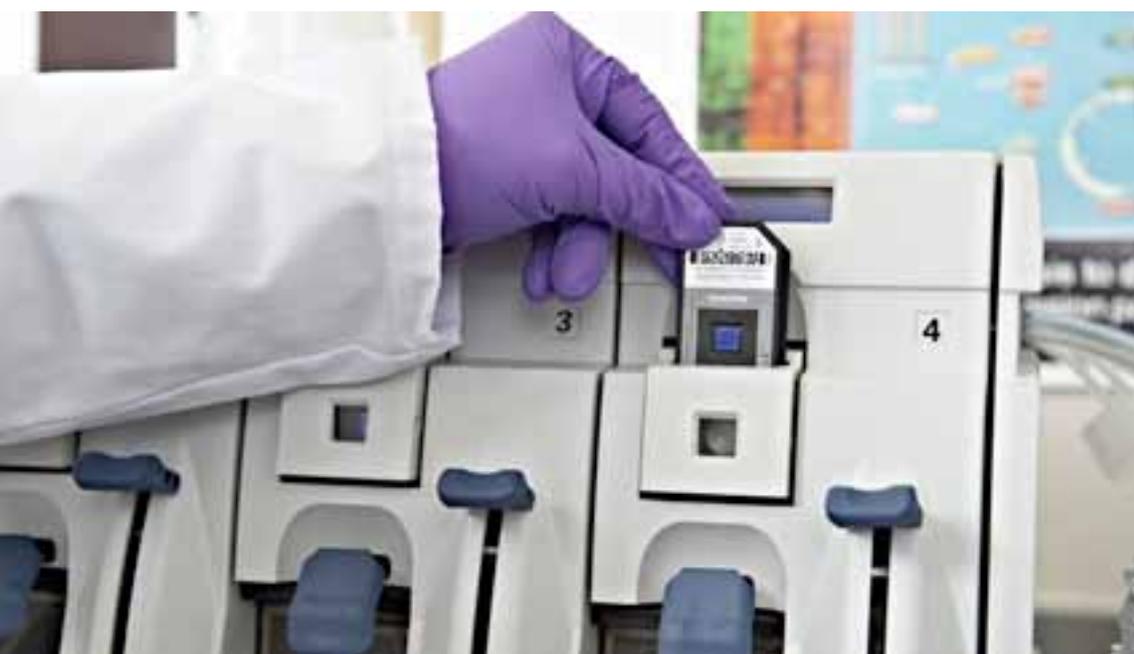
La bioinformatique prend son envol

De nouvelles techniques accélèrent la recherche génétique

Les facteurs génétiques sont pris en considération dans de nombreuses études sur les effets des rayonnements ionisants sur les organismes vivants. Leur acide désoxyribonucléique (ADN) et leur acide ribonucléique (ARN) sont dès lors examinés. Une grande partie de l'ADN est transférée vers l'ARN messager qui sert à produire des protéines. Ce processus est appelé 'expression génique' et peut être initié de façon expérimentale. L'étude de l'expression génique génère un grand nombre d'informations. Cette masse

d'informations rend la biologie moléculaire tributaire de systèmes informatiques très avancés.

Les études de l'ADN et de l'ARN étant importantes pour de nombreux projets de recherche, le SCK·CEN a développé une grande expertise dans le domaine de la bioinformatique. La biologie moléculaire utilise depuis longtemps déjà des microarrays (micropuces) pour mesurer l'expression génique à grande échelle, notamment pour des milliers de gènes en parallèle. Une micropuce est composée d'une plaque de verre sur laquelle l'ARN peut se fixer à une cible génétiquement spécifique. Cet ARN fixé de la sorte est marqué au moyen de colorants de sorte à pouvoir mesurer la quantité d'ARN associé, ce qui donne une indication de la quantité de protéines produites.

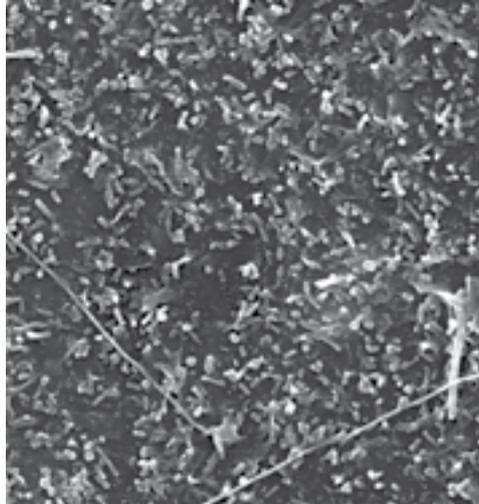
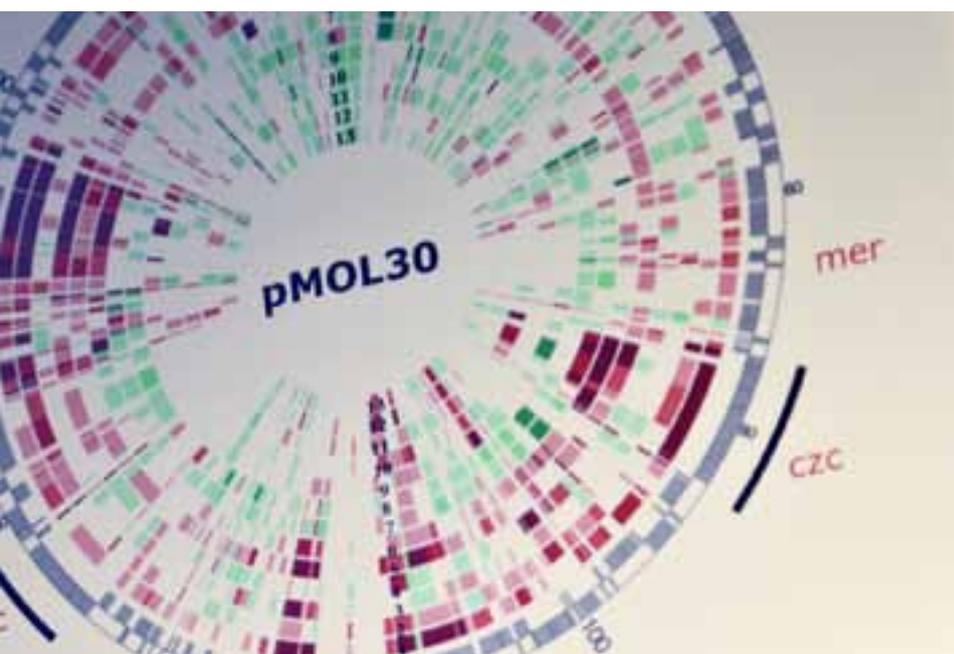


D'une année à une semaine

En 2011, les bio-informaticiens du SCK•CEN ont utilisé une nouvelle technologie permettant une détermination beaucoup plus rapide de l'ADN. Là où un consortium international a eu besoin en 1995 d'une année entière et de dizaines de millions de dollars pour le séquençage d'un génome bactérien, la technologie actuelle est en mesure de percer les mystères de ce même génome en quelques heures ou quelques jours, à l'aide d'une seule machine, et pour un coût inférieur. Même pour un génome humain qui est plusieurs milliers de fois plus grand que celui d'une bactérie, plus de 90% de la séquence peuvent être retracés en une semaine.

Pilotage à travers une masse de données

La nouvelle technologie de séquençage génère toutefois des gigabits de données. Des méthodes bioinformatiques avancées sont dès lors nécessaires pour l'analyse de cette grande quantité d'informations. Le SCK•CEN fait également usage de ces nouvelles techniques, avant tout pour l'étude de la résistance des bactéries à certains métaux et dans l'étude spatiale. Une analyse de ces données fournit de précieuses indications sur l'éventuelle fonction des gènes et des protéines.



LES BACTÉRIES PRÉSENTES DANS L'ARGILE DE BOOM LIVRENT LEURS SECRETS

Les avantages de la technique du séquençage sont mis en valeur dans le cadre d'une étude en cours sur l'enfouissement des déchets radioactifs dans l'argile de Boom. On ne parvenait jusqu'il y a peu qu'à isoler les bactéries d'un échantillon de sol et à les cultiver séparément en laboratoire. On pouvait ensuite déterminer l'ADN des différentes bactéries. Malheureusement, toutes les bactéries présentes dans des échantillons de sol ne peuvent pas être cultivées en laboratoire.

Grâce au séquençage, la totalité de la population bactérienne présente dans une couche d'argile peut être analysée. Cette analyse est importante pour l'évaluation des éventuels effets de l'action bactérienne, notamment en ce qui concerne l'enfouissement de longue durée de matières hautement radioactives dans le sous-sol. On souhaite ainsi découvrir si les populations bactériennes sont susceptibles, en cas d'enfouissement géologique, d'entraîner la formation de gaz ou d'acide. Le SCK•CEN collabore à cet égard avec les membres du projet de recherche international Mont Terri en Suisse, où une étude similaire est actuellement menée.

Quid des effets d'une faible dose de radiations sur le cerveau ?

Le SCK•CEN coordonne le projet international CEREBRAD

Le SCK•CEN apporte depuis 30 ans déjà une contribution importante à l'étude des effets des rayonnements ionisants sur le cerveau. Le lancement du projet de recherche européen CEREBRAD constitue une étape importante dans la mise en évidence de l'impact de faibles doses de radiations sur le cerveau.

Plus de 60 ans de recherches

Les effets de doses élevées de radiations ont été décrits en détail sur la base des données épidémiologiques recueillies auprès de victimes d'accidents nucléaires et des bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki, il y a plus de 65 ans de cela. Ces informations ont permis de développer un modèle capable de prédire avec fiabilité les effets de doses élevées de radiations. En revanche, les effets de faibles doses de radiations nécessitent des données plus nombreuses et plus sûres. En effet, en dessous d'une certaine valeur, les données de mesure disponibles sont insuffisantes pour pouvoir faire des prévisions fiables. On considère que ce qui est inférieur ou égal à 0,1 Sievert constitue une faible dose. L'apparition possible d'effets cancéreux a clairement été démontrée en cas de

doses supérieures. Le rayonnement ionisant est également susceptible de causer d'autres affections, principalement cardiovasculaires et cérébrovasculaires, mais aussi d'induire la cataracte, entre autres. Certains de ces effets ne sont apparus chez les habitants d'Hiroshima et de Nagasaki ou des environs de Tchernobyl que 20 à 30 après l'exposition.

Des preuves explicites sont essentielles

Une bonne compréhension des effets de faibles doses de radiations est non seulement importante pour les personnes qui se retrouvent exposées dans le cadre de circonstances exceptionnelles telles qu'un accident nucléaire, ou pour les astronautes dans l'espace, mais aussi, principalement, parce que le nombre d'exams médicaux effectués à l'aide de rayons X ou d'autres types de rayons ne cesse de croître. Il n'existe pas de preuve formelle des effets d'une tomodensitométrie sur les femmes enceintes ou les jeunes enfants. En Belgique, nous recevons chaque année une



dose de 2 mSv (milliSievert) provenant de la radioactivité naturelle qui nous entoure. Les examens médicaux que nous subissons nous exposent également à une dose de 2 mSv. Il est donc essentiel de disposer de preuves formelles sur les effets éventuels de ces faibles doses de radiations.

La première étude de l'effet des rayonnements ionisants sur le cerveau a débuté il y a plus de 65 ans, juste après les bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. Une hausse du retard mental a été constatée à un certain moment de leur développement chez les enfants qui, à l'époque, ont été exposés aux radiations dans l'utérus. Pour étayer cette hypothèse, des recherches ont été menées au SCK•CEN, entre autres, sur des souris qui ont été exposées à des radiations pendant leur gestation. Exactement les mêmes effets que chez les enfants sont ressortis des tests comportementaux effectués après la naissance, mesurant la mémoire et la capacité d'apprentissage des souris. L'hypothèse a dès lors été confirmée.

Un projet de recherche comptant trois piliers

Le SCK•CEN étudie depuis plus de 30 ans déjà les effets du rayonnement ionisant sur le cerveau. Une nouvelle impulsion a été donnée à ses recherches en octobre 2011 avec le lancement de CEREBRAD (Cognitive and Cerebrovascular Effects Induced by Low Dose Ionizing Radiation). 11 instituts de recherche et universités participent à cet ambitieux projet européen, qui fait partie du 7ème programme-cadre.

CEREBRAD comprend trois piliers. Le principal objectif est de renforcer la puissance statistique des données épidémiologiques obtenues à Hiroshima et Nagasaki. Les données de patients ayant subi une radiothérapie, et dont le cerveau a donc été exposé à une dose de radiations assez faible, sont recueillies à cet effet. Le comportement de ces personnes et leurs fonctions cognitives sont étudiés de manière approfondie pendant la durée du projet. Il y a également le suivi d'un échantillon d'habitants de Tchernobyl qui sont nés après l'accident et qui ont tous été

exposés aux rayons dans l'utérus ou pendant la première année de leur vie. Les chercheurs espèrent, grâce à ces informations, mieux comprendre le retard mental dû aux radiations ou leur influence sur le système cognitif.

Le deuxième pilier porte sur l'expérimentation animale, avec l'exposition prénatale et postnatale de souris. Celles-ci subissent des rayons le 12ème jour de gestation et le 10ème jour après la naissance. Les effets sur les animaux sont ensuite examinés. Une part importante de l'étude est consacrée aux études comportementales. Le but est de stimuler une exposition externe comparable sur la base des informations recueillies auprès des habitants d'Hiroshima et de Nagasaki. Cette simulation est possible au moyen de rayons X ou de rayons gamma. Une simulation similaire de la contamination interne causée par le césium est également effectuée pour Tchernobyl.

Outre ces effets, le projet de recherche se concentre sur l'impact de la radiothérapie sur les souris. Notamment la circulation sanguine du cerveau et la teneur en oxygène dans le sang, sont examinés. L'imagerie médicale à résonance magnétique à 3, 10 et 40 semaines après la naissance, a dans l'intervalle déjà généré des données précises qui démontrent clairement que le cortex cérébral, un élément important du cerveau, des animaux exposés à des radiations, est plus petit.

Le dernier pilier de CEREBRAD est la recherche des mécanismes ultimes qui se cachent derrière les effets des radiations. Ce défi englobe une analyse détaillée des processus cellulaires et moléculaires. Cette connaissance peut servir de base à la formulation de recommandations pour les législateurs en ce qui concerne les limites d'exposition, notamment les doses optimales et maximales pour la radiothérapie.





Interview avec
Rafi Benotmane,
Coordinateur du projet
CEREBRAD et responsable
de neurobiologie dans
l'unité Radiobiologie

CEREBRAD

CEREBRAD est un projet de recherche international initié par le SCK•CEN. Selon le coordinateur Rafi Benotmane, cette initiative n'a pu être prise par le Centre que grâce à la vaste expérience de celui-ci dans le domaine de l'étude des effets des radiations sur le cerveau.

Rafi Benotmane: Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire a entamé cette étude dans les années '80. Il a dans l'intervalle acquis de grandes connaissances dans ce domaine et de nouvelles technologies ont été implémentées au niveau de l'étude du génome et de la bioinformatique. C'est aussi la raison pour laquelle le SCK•CEN coordonne ce projet. Nous sommes le leader dans l'étude des effets des radiations sur le cerveau. Peu d'instituts possèdent notre expertise.

Huit chercheurs œuvrent à CEREBRAD au sien du SCK•CEN. Sur quoi l'accent est-il mis dans le cadre de ce projet européen ?

Rafi Benotmane: Nous nous concentrons sur les expérimentations animales, pour lesquelles nous utiliserons principalement notre laboratoire à rayons X. L'imagerie et les études comportementales se feront en collaboration avec nos collègues de la KU Leuven. L'atout du SCK•CEN est qu'il dispose du savoir-faire et de l'infrastructure nécessaires pour examiner les effets au niveau de l'ADN. Nous nous chargerons des recherches génétiques avec notre plateforme de recherche génétique, qui nous servira à définir l'expression génique de nos propres échantillons et de ceux des autres groupes de recherche. La mesure de la dose de radiations exacte aura également lieu à Mol. Tout comme pour les humains,

nous ne disposons pas non plus pour les animaux de preuve formelle des effets de faibles doses de radiations. C'est la raison pour laquelle la discipline dosimétrie au sein du SCK•CEN est chargée de faire pour les animaux la même chose que pour les humains, pour la radiothérapie, par exemple. Nous savons à cet égard quelle dose a exactement été absorbée par certains organes. Nous ne disposons pas, jusqu'il y a peu, du savoir-faire nécessaire pour réaliser cette mesure chez les animaux. Nous pouvons à présent, grâce à nos collègues de la dosimétrie, calculer quelle est la dose effective absorbée par le cerveau du fœtus de souris. Il s'agit là d'une donnée très importante, car notre seule référence est la dose externe totale, ce qui n'est pas la même chose que la dose effectivement absorbée. Nous nous sommes basés sur 0,1 Sievert dans la plupart des études que nous avons menées jusqu'ici. Il s'agit



d'une dose encore relativement élevée, mais nous ne savons pas quelle quantité a été absorbée par l'embryon. Peut-être n'en a-t-il absorbé qu'un tiers. Cet aspect fait l'objet d'une grande attention dans l'étude parce que nous pouvons à présent bel et bien déterminer quelle dose est réellement absorbée.

Qu'espérez-vous trouver au juste ?

Rafi Benotmane: Si nous arrivons à déterminer les effets en cas de faibles doses de radiations, j'espère que nous pourrions comprendre les mécanismes sous-jacents. Nous pourrions ainsi formuler des recommandations pour les législateurs en ce qui concerne les limites d'exposition, notamment les doses optimales pour la radiothérapie. S'il n'y a pas d'effets en cas de faibles doses, c'est encore mieux. Mais il faut toujours rester prudent.

Il nous manque également des informations sur la sensibilité individuelle. Même si nous disposons d'informations disant que les faibles doses n'entraînent aucun effet, il y aura toujours des individus qui seront plus sensibles que d'autres. Nous devons rester prudents et maintenir les niveaux de radiations aussi bas que possible conformément à la règle universelle dans le domaine de la protection contre les rayonnements, 'ALARA'. Les radiations doivent être aussi basses que raisonnablement possible (As

Low As Reasonably Achievable). Nous devons également informer les instances régulatrices des seuils auxquels certains effets se manifestent. Les résultats du projet de recherche conduiront dès lors probablement à de nouvelles règles en ce qui concerne les limites de dose. Nous souhaitons aussi en particulier protéger le fœtus dans l'utérus et les jeunes enfants. Nous savons que la sensibilité aux rayonnements pour cette population est trois fois plus élevée que chez les adultes, ce qui fait ressortir certains effets. Mais on ne peut bien entendu pas établir de règle pour chaque type de population. Il vaut donc mieux pouvoir réduire les doses de manière générale. Le credo est et reste 'as low as reasonably achievable'.

Certification ISO-17025 pour les calibrages en radiothérapie

Calibrages précis pour les hôpitaux belges

Le Laboratoire de Calibrage Nucléaire du SCK•CEN a pu cueillir en 2011 les fruits d'efforts de longue durée. Grâce aux connaissances présentes et à l'application d'une stricte Assurance Qualité, c'est actuellement le seul laboratoire belge à disposer d'une certification ISO-17025 pour le calibrage de chambres d'ionisation employées en radiothérapie. Cette certification est avant tout importante pour les hôpitaux belges qui sont tenus de faire calibrer sur base périodique les instruments de référence de leur service de radiothérapie dans un laboratoire agréé.





Le SCK•CEN offre ce service en collaboration avec l'Université de Gand et sous la surveillance de l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN). En 2008, le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire a repris une grande partie des activités du laboratoire de dosimétrie standard de l'Université de Gand. Depuis, un programme a été élaboré en vue d'optimiser le service offert aux hôpitaux belges. En radiothérapie, les patients sont exposés à une dose importante de rayonnements. Il importe dès lors que la dose administrée soit suivie avec exactitude. Le succès du traitement dépend en grande partie de la précision de l'exposition à la dose prescrite. Un appareil qui procède à des mesures correctes est essentiel à cet effet.

Expertise reconnue

Afin de pouvoir mesurer les doses administrées, des chambres d'ionisation sont utilisées comme instruments de mesures au sein des hôpitaux. Ces chambres d'ionisation doivent régulièrement être calibrées afin de garantir la précision des mesures. Ce calibrage doit avoir lieu dans un laboratoire de calibrage certifié. En 2011, le SCK•CEN est le seul institut à avoir reçu en Belgique la fort convoitée certification ISO-17025 de l'organisme d'accréditation belge (BELAC) pour le calibrage de chambres d'ionisation employées en radiothérapie.

Instruments fiables

Les hôpitaux belges peuvent de ce fait désormais s'adresser à un institut belge pour le calibrage périodique obligatoire de leurs instruments de référence pour la radiothérapie. Le laboratoire de Gand dispose d'une source générant un faisceau bien caractérisé, dont le débit de dose est très précisément connu. La chambre d'ionisation, mise à disposition par un hôpital pour le calibrage, est placée dans ce faisceau. Le débit de dose est ensuite comparé au débit de dose de référence connu. Idéalement, il n'y a pas d'écart. L'instrument de l'hôpital est ainsi calibré, ce qui en garantit la fiabilité.

Déchets historiques dans le bitume

Convient à un enfouissement souterrain ?

Cette question occupe depuis un certain temps déjà le groupe d'expertise Déchets et Enfouissement. Les préparatifs d'une série d'essais à grande échelle ont été entamés en 2011. L'étude, en cours depuis de nombreuses années, durera encore plusieurs décennies et ce, pour de bonnes raisons.

Les déchets bituminés sont un mélange de bitume et de déchets liquides emballés dans des fûts d'acier. Il s'agit en l'espèce de déchets radioactifs provenant du retraitement d'éléments combustibles usés auprès de l'ancien Eurochemic à Dessel. De grandes quantités de déchets de moyenne activité y étaient stockées dans des réservoirs en vue de leur traitement. Le bitume est ce qui subsiste après la cokéfaction et sont fort comparables à l'asphalte. La technique a surtout été appliquée à la fin des années '70 jusqu'à la première moitié

des années '80. Les fûts sont stockés dans des bunkers chez Belgoprocess, qui s'est occupée des installations et des déchets d'Eurochemic après la fermeture. En raison de la durée de vie et de la nature des radionucléides présents, un enfouissement géologique est la solution la plus indiquée pour ce type de déchets. Avant d'entrer en considération à cet égard, cette forme de déchets doit être admise par l'organisme national des déchets radioactifs et matières fissiles

enrichies (ONDRAF). Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire procède à l'analyse nécessaire à cet effet.

Les premiers essais

Dans les années '80 déjà, le SCK•CEN a procédé aux premiers essais relatifs audit comportement à la lixiviation du bitume. Le bitume est une matière imperméable à l'eau et, dans une certaine mesure, au gaz. On supposait qu'il s'agissait là d'une matière anti-eau idéale. Le mélange de bitume et de déchets contient toutefois énormément de sel, avec des concentrations de 20 à 30% du poids. Une propriété importante de ces sels, en particulier le nitrate de sodium (NaNO_3), est qu'ils aspirent l'eau, tout comme le sel de cuisine. De ce fait, le bitume gonfle lorsqu'il y a de l'eau dans les parages. Si le bitume n'a pas la place pour

se dilater, une pression sera exercée sur le fût. Il y aura aussi une lente lixiviation du nitrate de sodium dans l'argile.

Le contact avec l'eau est inévitable en cas d'enfouissement souterrain dans l'argile. Si le bitume entre en contact avec l'eau, la pression va augmenter, et si cette pression devient trop élevée, la couche d'argile se fissurera. La radioactivité peut en théorie se propager plus rapidement via ces fissures. Ce qu'il faut bien entendu empêcher. Sur la base des connaissances actuelles, une fissure n'est plus automatiquement considérée comme un problème important. L'argile de Boom est une argile plastique et si des fissures se produisent, elles se referment

par la pression de l'argile elle-même. Le groupe d'expertise Déchets et Enfouissement souhaite toutefois mieux comprendre et définir ce phénomène afin de prédire ensuite au moyen de modèles quelle serait l'éventuelle montée en pression pour un projet d'enfouissement spécifique. Il s'agit dans ce cas par exemple de la détermination du nombre de fûts pouvant être placés dans une galerie souterraine.





**Steven Smets, Wim Verwimp
et Elie Valcke de l'unité R&D
Colis de Déchets**

Bulles sans risque ?

Un autre phénomène étudié de manière approfondie par les experts du SCK•CEN est la production importante de gaz. En cas de rayonnement, les molécules d'hydrocarbure, dont est composé le bitume, forment de l'hydrogène. En cas d'enfouissement souterrain, le gaz d'hydrogène ne peut pas s'échapper. Il peut toutefois se dissoudre en partie dans l'eau argileuse. Dès lors qu'une saturation est atteinte, de petites bulles d'hydrogène apparaissent, qui finissent par s'unir pour former de grosses bulles. Parce qu'il n'y a pas d'oxygène, le danger d'explosion est nul, mais si la pression de la poche de gaz

devient trop importante, le risque de formation de fissures dans la couche d'argile s'accroît, avec à la clé un risque de fuite de gaz. La combinaison des deux événements, la dilatation des fûts suite à l'absorption d'eau et les contraintes résultant de la hausse de pression suite à la production de gaz, peut toutefois s'avérer problématique. L'impact des deux phénomènes est actuellement à l'étude.

Des essais simulent les phénomènes dans le sous-sol

Des progrès significatifs ont été réalisés ces dernières années dans la compréhension de la dilation, de l'absorption d'eau et de la lixiviation et ce, tant au niveau qualitatif que quantitatif. Des essais mettant la matière en contact avec une solution comparable à celle à laquelle la matière serait exposée dans une couche argileuse, ont notamment été effectués. Plusieurs instruments mesurent la



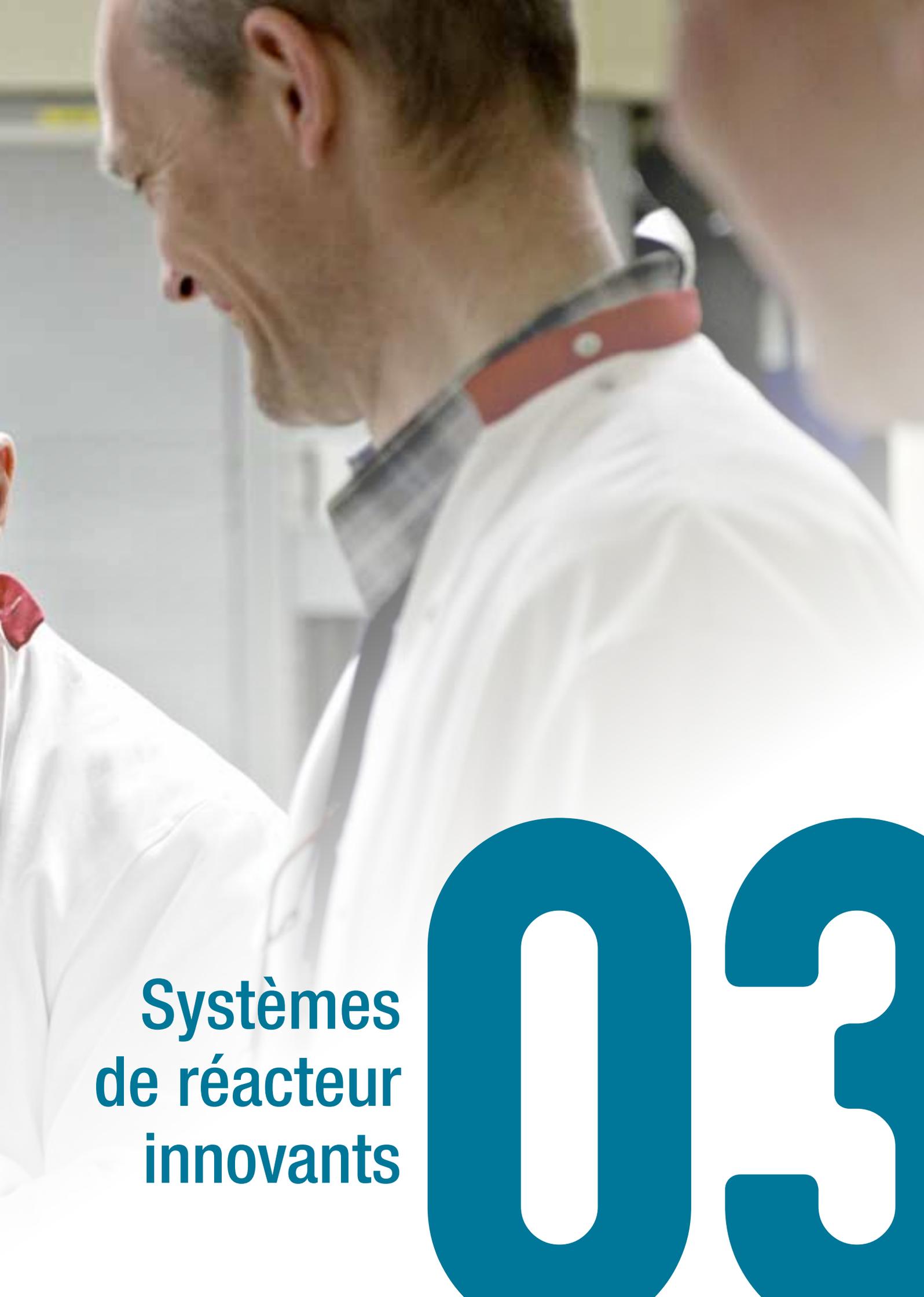
dilatation. Des leviers et des poids génèrent une pression bien déterminée et la dilatation est alors étudiée en fonction du temps. La composition de la solution varie également pour étudier les effets. C'est la raison pour laquelle on parle de modèle chimio-hydro-mécanique. La pression exercée va jusqu'à 44 bars, ce qui correspond à la pression totale au fond d'un éventuel site d'enfouissement argileux.

La dispersion de grandes quantités de sels (nitrate de sodium NaNO_3) dans l'argile requiert des études complémentaires. L'argile présente un certain nombre de propriétés avantageuses pour l'enfouissement de déchets radioactifs. L'une de ces propriétés est que les radionucléides se dispersent moins rapidement dans l'argile. Des études ont démontré que le nitrate de sodium n'a qu'un impact limité, voire aucun impact sur cette propriété avantageuse en l'absence de bactéries. Il n'est toutefois pas exclu que la présence

de bactéries influence ces processus. Des études plus approfondies sont en cours à cet égard.

En 2011, les préparatifs d'une série de tests à grande échelle dans ce domaine ont également été entamés. Afin de suivre l'évolution à long terme, l'étude sur l'enfouissement des déchets dans le bitume durera probablement encore 30 à 40 ans. Plutôt que de concentrer tous les efforts à court terme, l'échelonnement de cette étude dans le temps a pour avantage que les connaissances dans ce domaine peuvent être conservées et transmises aux générations suivantes de chercheurs.





**Systemes
de réacteur
innovants**

03

Couplage de l'accélérateur de particules et du réacteur

GUINEVERE : une première mondiale pour le SCK•CEN

GUINEVERE a fait des étincelles en 2011. Le projet se rapporte au couplage d'un accélérateur de particules (GENEPI-3C) au réacteur de recherche transformé du SCK•CEN, VENUS-F. GUINEVERE est le tout premier modèle de démonstration d'un réacteur doté d'un cœur entièrement composé de plomb, piloté par un accélérateur de particules fonctionnant en mode pulsé ou continu.

Le réacteur a pour la première fois été lancé en mode critique en janvier 2011. Il s'agissait ainsi de la première mise en service d'un réacteur à neutrons rapides au SCK•CEN. Le réacteur VENUS-F transformé possède un cœur composé de plomb, alors que ces 40 dernières années un réacteur modéré à l'eau avait été utilisé.

Critique sans problème

La première étape de la mise en service s'est déroulée sans problème. Le réacteur était critique dans cette phase et particulièrement stable et facile à contrôler. Au printemps 2011, un programme expérimental a été mené afin de caractériser le cœur. Des experts ont mesuré divers paramètres tels que le flux neutronique maximum dans le réacteur, la répartition du flux (la répartition neutronique en fonction

du lieu), la température du réacteur et la manière dont le réacteur réagissait aux changements à l'intérieur du cœur ou aux modifications de la puissance. Ces essais s'inscrivent dans le cadre de la phase de mise en service devant démontrer si l'installation fonctionne tel que défini. Pour le projet GUINEVERE, la mise en service comprend trois phases : les essais non nucléaires sans combustible, la phase critique avec combustible et la phase sous-critique. L'installation doit réussir les tests pour tous les composants. Les essais dans la phase critique se sont achevés fin avril 2011. En août, les autorités de sûreté

ont donné leur feu vert pour démarrer la dernière phase, la phase sous-critique.

La dernière ligne droite vers une première mondiale

L'essence même de la phase sous-critique est le branchement de l'accélérateur de particules GENEPI-3C au réacteur VENUS-F. Le cœur du réacteur a d'abord été modifié pour pouvoir introduire la ligne de faisceau verticale de l'accélérateur de particules dans le réacteur. Quelques assemblages de combustible ont été retirés à cet effet. L'accélérateur avait déjà subi des tests approfondis avant la phase critique, certes sans combustible dans le réacteur. Des essais ont encore été effectués avant le couplage en vue d'accomplir les mesures de référence nécessaires avec le réacteur chargé. Le 10 octobre 2011 était le jour de vérité avec le démarrage, pour la première fois, de l'accélérateur de particules, créant une source de neutrons dans le cœur sous-critique. Les barres de contrôle du réacteur ont été amenées au niveau de référence, concrétisant le couplage. Un réacteur sous-critique doté d'un cœur entièrement composé de plomb était pour la première fois commandé par un accélérateur de particules fonctionnant en continu.



GUINEVERE

GUINEVERE (Generator of Uninterrupted Intense NEutrons at the lead VENus REactor) est le modèle de démonstration d'un système piloté par un accélérateur de particules, également appelé Accelerator Driven System (ADS). Le réacteur transformé VENUS-F du SCK•CEN a été couplé à l'accélérateur de particules GENEPI-3C qui a été construit par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS, France). Le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA, France) a co-soutenu le développement du concept et de l'infrastructure et a mis le combustible à disposition. Une dizaine d'autres laboratoires européens et la Commission européenne participent également au projet.

L'inauguration officielle de GUINEVERE a eu lieu en mars 2010 au SCK•CEN à Mol. Pendant la première année, l'accélérateur de particules, les systèmes de ventilation et les divers systèmes auxiliaires de l'installation ont été testés de manière approfondie. En février 2011, le réacteur a été lancé en mode critique classique pour une vaste série de tests de caractérisation. Le couplage effectif entre l'accélérateur de particules et le réacteur VENUS-F a eu lieu en octobre 2011, le système passant ainsi en mode sous-critique.

GUINEVERE est une installation d'essai d'une puissance limitée conçue pour servir d'appui au projet MYRRHA. Ce modèle est d'une importance capitale pour la mise au point du fonctionnement et du contrôle de futurs réacteurs sous-critiques tels que MYRRHA. Ce type de réacteur est très sûr car la partie du réacteur d'un système ADS dépend, pour son fonctionnement, de l'accélérateur de particules. Si l'accélérateur de particules est débranché, le réacteur s'arrête aussi automatiquement.





Le couplage d'un accélérateur de particules à un réacteur dans le cadre du projet GUINEVERE était une grande nouvelle et ce, pas seulement dans les médias

belges et français. La nouvelle a également fait le tour du monde via les canaux d'information spécialisés. Mais pourquoi le projet GUINEVERE a-t-il en fin de compte constitué une première mondiale et quelle signification cela a-t-il pour le développement de futurs Accelerator Driven Systems (ADS) ?

La valeur d'une première mondiale

Interview avec Peter Baeten, directeur d'institut Systèmes Nucléaires Avancés

Peter Baeten: GUINEVERE est d'une importance capitale en ce qui concerne les systèmes ADS. Plusieurs pays travaillent sur des systèmes pilotés par un accélérateur de particules, mais personne ne dispose d'un ADS à haute puissance. Tel est l'objectif de MYRRHA. Le modèle réduit GUINEVERE est une première étape dans cette direction. Des systèmes ADS de taille réduite ont déjà été développés dans le passé. Il n'y a là en soi rien de spécial. Nous avons aussi eu un ADS au SCK•CEN à l'époque. Mais ces installations ne sont pas comparables à un grand ADS.

Pourquoi les systèmes existants ne suffisaient-ils pas ?

Peter Baeten: Nous avons besoin d'un ADS pertinent pour l'agrément de MYRRHA. Un grand nombre de petits systèmes ADS ont peu d'utilité pour la procédure d'agrément d'un véritable ADS. Pour l'octroi d'une licence, il faut avoir quelque chose de représentatif, ce qui suppose deux conditions. D'une part, il faut valider des codes de calcul dans des circonstances représentatives afin de pouvoir déterminer les marges de sûreté de manière correcte. D'autre part, il faut disposer d'une méthode fiable pour mesurer la sous-criticité du réacteur, ce qui n'a encore jamais fait l'objet d'une approche systématique. La première démarche a été entreprise avec MUSE, un projet FP5 à Cadarache, en France, dans le cadre duquel l'accélérateur de particules GENEPI a été couplé au réacteur MASURCA. L'expérience a généré des données, mais pas en quantité suffisante. On en a conclu que si l'on



FREYA

Pour la réalisation du projet GUINEVERE, le SCK·CEN a collaboré de manière très intensive avec le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS, France). Les deux parties continueront également à collaborer étroitement pour la suite. Un nouveau projet de recherche intitulé FREYA a été lancé en mars 2011. FREYA (Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications) est le programme expérimental qui rassemble le réacteur VENUS-F et l'accélérateur de particules GENEPI-3C du projet GUINEVERE. FREYA générera les quatre prochaines années de nouvelles données revêtant une importance capitale pour le développement de systèmes ADS.

Grâce à la caractérisation du cœur du réacteur, composé de plomb et d'uranium, les codes neutroniques qui seront utilisés pour MYRRHA peuvent pour la première fois être testés de manière expérimentale. Ces codes donnent un aperçu de la répartition neutronique dans le réacteur, ce qui est essentiel pour le contrôle et le fonctionnement en toute sécurité du système.

Dans le cadre du projet FREYA, l'influence de la position de la source neutronique sera également examinée. Une cible en tritium sera placée à l'extrémité de l'accélérateur. C'est là que sont produits les neutrons nécessaires pour alimenter le réacteur. Dans MYRRHA, la cible est liquide et la position est donc variable. Le projet FREYA offre la possibilité de voir si ces fluctuations ont une influence sur le fonctionnement du réacteur.

voulait vraiment mener des expériences livrant des résultats pertinents pour une procédure d'agrément, un système tel que GUINEVERE s'imposait.

Pourquoi GUINEVERE a-t-il constitué une première mondiale ?

Peter Baeten: Il existe de par le monde de nombreux couplages de quelque chose avec un réacteur. Mais cela n'est d'aucune utilité dans le cadre d'une procédure d'agrément pour un grand ADS. Il s'agit d'expériences universitaires qui permettent aux étudiants de mesurer certaines choses. Notre objectif était de recueillir des informations pour la validation de codes de calcul et de développer une méthode validée pour la mesure de la sous-criticité. Il faut pour cela une installation au sein de laquelle on peut faire, dans des circonstances représentatives acceptables, les mêmes expériences que plus tard dans MYRRHA. Sinon les autorités de sûreté demanderont à savoir : "Quel en est le caractère extrapolable ?". Et c'est là que l'histoire s'arrête.

Nous avons besoin d'un accélérateur de particules fonctionnant comme un véritable ADS. L'accélérateur contenu dans MUSE était une version pulsée. L'accélérateur d'un ADS à haute puissance ne sera jamais pulsé. Il a un faisceau continu. En outre, le cœur du modèle réduit doit également être représentatif, ce qui signifie un cœur rapide composé du même matériau qu'un ADS industriel, c'est-à-dire du plomb ou du plomb-bismuth et non du sodium

ou de l'eau. Ces deux conditions doivent être réunies pour pouvoir réexaminer les techniques standard que nous avons déjà observées dans MUSE. Nous pouvons à présent pour la première fois en faire la démonstration avec GUINEVERE. C'est la raison pour laquelle il s'agit effectivement d'une première mondiale, qui permettra la construction d'un ADS à haute puissance. Autrement dit, notre 'bébé MYRRHA' à puissance zéro est une étape cruciale dans la procédure d'agrément de la version finale à échelle réelle.



Interview avec
Hamid Aït Abderrahim,
directeur de MYRRHA

MYRRHA en 2011

“ Grâce au projet MYRRHA, je rencontre de nombreux collègues du monde entier. Des délégations étrangères sont aussi régulièrement invitées au SCK•CEN. Je dois dire en toute honnêteté que nous suscitons à chaque fois beaucoup d’admiration. J’entends souvent dire que nous livrons un travail exceptionnel avec une équipe de 700 personnes, ce qui, sur le plan international, est très modeste. Une telle réalisation n’est possible qu’avec le soutien de collaborateurs dévoués et enthousiastes.

”

L'année mouvementée de MYRRHA

L'installation de recherche innovante convainc le monde

L'accident qui s'est produit dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a également eu un impact sur le projet MYRRHA. Déjà lors de la première conception de l'installation, l'accent était mis sur l'exclusion maximale de tout risque. Après les événements qui se sont produits au Japon, l'équipe MYRRHA a de nouveau consacré quelques mois à la révision du plan existant.

La nécessité de l'adaptation des systèmes de sûreté ou d'autres composants importants, a été examinée. Il fallait aussi attendre de voir si Fukushima allait influencer la formation du consortium qui financera et gèrera MYRRHA.

Hamid Aït Abderrahim: Ce qui s'est passé le 11 mars est inconcevable. Personne ne s'y attendait. La première réaction de l'équipe MYRRHA a été d'examiner ce qui s'était passé et de voir quelles leçons en tirer pour notre projet. Mais nous devions bien entendu également avoir une idée de l'impact éventuel sur l'avancement du projet. En mars et avril, les membres de l'équipe MYRRHA, et surtout la Management Team, ont étroitement été impliqués dans l'étude menée par le SCK•CEN sur l'accident de Fukushima et les effets de celui-ci. Nous avons ensuite examiné si un tel accident pouvait se produire dans MYRRHA. Quid en cas de panne d'électricité ? Le cœur pourrait-il se mettre à fondre ? Ce scénario était déjà prévu dans la conception, mais quand un tel accident se produit, on se remet à la table à dessin pour vérifier encore une fois si tout concorde vraiment. Et le fait est que si nous

perdons tous les systèmes de refroidissement actifs, le cœur de MYRRHA ne fondra pas. Le pire qui s'est produit à Fukushima ne peut donc pas arriver chez nous. Nous avons bien entendu également analysé d'autres aspects plus en détail. Il y a par exemple de nouvelles recommandations pour l'impact de tremblements de terre majeurs, que nous reprenons bien évidemment dans le projet.

Pour le reste, il faut attendre de voir quels choix l'Europe opérera pour le financement de l'étude des réacteurs de la quatrième génération dans le cadre du Strategic Energy Technology Plan (SET-plan). Il est possible que le soutien financier accordé à MYRRHA se réduise de ce côté. MYRRHA est en outre également une infrastructure de recherche, ce qui nous met en position de force parce que nous figurons sur la liste des priorités en ce qui concerne les grandes infrastructures de recherche de l'European Strategic Forum for Research Infrastructures (ESFRI).

La décision de l'Allemagne de sortir du nucléaire a-t-elle des conséquences pour le projet MYRRHA ?

Hamid Aït Abderrahim: Cela reste encore à voir. Nous avons toujours pensé que l'Allemagne pouvait être l'un des partenaires essentiels du projet MYRRHA.

“ 2012 sera à nouveau une année captivante pour l'équipe MYRRHA. ”

Après l'annonce de la décision de l'Allemagne de sortir du nucléaire, il était difficile d'évaluer quel impact aurait cette décision sur leur intérêt pour MYRRHA. Mais l'Allemagne est toujours intéressée, en particulier dans les possibilités de MYRRHA pour la transmutation des déchets radioactifs à longue durée de vie, un processus qui rend les déchets résiduels beaucoup moins radiotoxiques et qui fait qu'ils doivent être stockés beaucoup moins longtemps. L'étude de ce scénario pour l'optimisation de l'enfouissement définitif est d'actualité, y compris pour les pays qui envisagent ou qui ont déjà planifié une sortie du nucléaire.

Où en êtes-vous concernant la formation du consortium international pour MYRRHA ?

Hamid Aït Abderrahim: Nous nous sommes fixés pour objectif en 2011 de limiter la quarantaine de pays potentiels pour les négociations, à une liste de pays sélectionnés avec lesquels nous pensons réellement conclure un accord. Nous nous sommes basés sur deux critères à cet égard. Seuls les pays qui pourraient très rapidement adhérer au consortium et les parties qui pourraient apporter une contribution très importante, sont entrés en

considération. Cet exercice a été effectué et nous avons maintenant une liste de 13 pays, principalement d'Europe et d'Asie.

Nous avons également identifié un nombre limité de scénarios pour le consortium de MYRRHA, avec les facteurs clés de réussite afférents. Nous avons en outre déterminé pour chaque scénario de quelle manière la meilleure synergie pouvait être obtenue entre les intérêts potentiels des partenaires et les objectifs stratégiques du SCK•CEN et de la Belgique. En ce qui concerne le SCK•CEN, l'exploitation de MYRRHA en tant qu'infrastructure de recherche multifonctionnelle pour des applications innovantes, revêt une importance capitale. Il est crucial, pour la Belgique, la Flandre et la Wallonie, d'investir continuellement dans l'innovation et de soutenir l'économie des connaissances. Nous utiliserons bien entendu MYRRHA également pour la production de

ACCORD DE COOPÉRATION AVEC L'UCL

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire et l'Université catholique de Louvain ont signé un accord de coopération en vue du développement et de l'essai de la première partie de l'accélérateur de particules MYRRHA. L'UCL dispose avec son Centre de Recherche du Cyclotron (CRC) d'une expérience et compétence étendues dans le domaine de la technologie d'accélération. L'université mettra à la disposition du SCK•CEN un bâtiment convenant parfaitement pour le démarrage de la construction, dès 2012, de la première partie de l'accélérateur de particules MYRRHA. Cette première phase porte sur l'injecteur comprenant la source protonique. Les particules y sont ionisées et transformées en faisceaux d'ions. Un quadripôle radiofréquence (RFQ) se charge ensuite de l'accélération des faisceaux d'ions.

La collaboration avec l'Université catholique de Louvain génère d'importantes synergies. Il est particulièrement intéressant pour l'UCL de pouvoir valoriser son expertise dans le domaine des accélérateurs de particules et de continuer à développer ses connaissances à ce sujet, tandis qu'il n'est pas nécessaire pour le SCK•CEN de construire un nouvel hangar et qu'il peut faire appel au soutien technique du Centre de Recherche du Cyclotron.

UCL
Université catholique de Louvain

radio-isotopes médicaux et l'irradiation de silicium en vue d'une utilisation dans des éoliennes, des véhicules hybrides, etc.

Quelle est la date en vue pour la réunion du consortium MYRRHA ?

Hamid Aït Abderrahim: Notre accord avec les autorités stipule que nous devons avoir des partenaires couvrant ensemble encore au moins 40% des investissements pour 2014. Il est évident que la situation économique dans le monde occidental et l'impact de Fukushima sur les gros investissements dans le secteur nucléaire, et même dans le domaine de la recherche, n'ont certainement pas facilité l'attrait de partenaires. Nous restons toutefois optimistes et continuerons à consolider les contacts existants. Oui, 2012 sera à nouveau une année captivante pour l'équipe MYRRHA.

MYRRHA

MYRRHA est l'acronyme de Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications. Le successeur du réacteur BR2 est une infrastructure de recherche très innovante. MYRRHA est basé sur l'utilisation de neutrons rapides et le refroidissement se fait à l'aide de métal liquide : un alliage de plomb et de bismuth. MYRRHA est le tout premier prototype de réacteur nucléaire au monde à être commandé par un accélérateur de particules. Il s'agit d'un réacteur sous-critique : le cœur ne contient pas suffisamment de matière fissile pour maintenir spontanément la réaction en chaîne. Il doit constamment être alimenté par une source neutronique externe. C'est la raison pour laquelle le réacteur est couplé à un accélérateur de particules. Il s'agit d'une technologie très sûre et très 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 à l'uranium est utilisé plus efficacement dans le réacteur, ce qui réduit la quantité de déchets radioactifs. En outre, MYRRHA doit démontrer que la technique peut être utilisée pour traiter la plupart des éléments radio-toxiques (les actinides mineurs tels que le neptunium, l'américium et le curium) par transmutation. Cette fission d'éléments à longue durée de vie en produits 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 tests des matériaux pour les réacteurs actuels et futurs, la technologie de production d'énergie par fusion nucléaire et le développement de matières fissiles innovantes. Il y a également la production de radio-isotopes médicaux, essentiels pour le diagnostic et le traitement du cancer, et l'irradiation de silicium, notamment pour les composants électroniques d'éoliennes et de véhicules hybrides. Le SCK•CEN souhaite mettre MYRRHA en service en 2023. Le coût total est estimé à 960 millions d'euros (2009).



MYRRHA prend forme

Fukushima confirme les choix opérés pour le projet

2011 a été une année décisive pour le Central Design Team (CDT) de MYRRHA. Le CDT est un projet européen relatif à la conception de cette installation de recherche multifonctionnelle, au sein de laquelle un certain nombre de partenaires internationaux se concentrent chacun sur une partie de la conception de haut niveau. Dans cette phase, les choix les plus importants sont opérés pour le projet, dont le développement ultérieur sera assuré par un bureau d'étude.

Dans le courant de 2011, l'équipe a été renforcée par des ingénieurs en charge de la réalisation de l'ensemble de l'infrastructure de MYRRHA, à l'exception de la partie nucléaire. Il s'agit d'experts en architecture et architecture, ingénierie de processus, instrumentation et contrôle, électricité, plomberie et chauffage, ventilation et conditionnement d'air (HVAC). La sélection du bureau d'étude chargé du développement des différentes composantes du projet de construction, a été entamée en 2011.

Un nouveau projet pour le cœur de MYRRHA

2011 s'est également avérée une année

cruciale pour les concepteurs du cœur de MYRRHA, appelé dans le jargon le système primaire. Il s'agit de la partie nucléaire de l'infrastructure. Le plan du système primaire a subi quelques révisions techniques importantes dans le courant de 2011. En juin, la révision 1.2 a été présentée. Les partenaires européens utilisent ce plan adapté pour les analyses de sûreté du système. La dernière révision mécanique s'est achevée fin 2011. On dispose aujourd'hui d'un plan cohérent de la totalité de la partie nucléaire, avec l'esquisse entière ou presque de tous les composants.

L'un des principaux défis était la conception du diaphragme, une structure

complexe très grande placée dans la cuve du réacteur, séparant la zone chaude de la zone froide. Malgré un développement poussé du diaphragme, il était nécessaire de réduire la température maximale du plomb-bismuth, le fluide réfrigérant. De nombreuses études ont également été menées en 2011 sur la faisabilité de telles structures complexes de grande taille.

Les concepteurs ont également créé une gaine pour MYRRHA : le baffle. Ce système fait en sorte que si un élément de combustible se détache, il reste confiné à l'intérieur de cette gaine. Le combustible ne peut alors tomber que dans une zone limitée et se trouve ainsi toujours à portée du bras robotique dont est équipé MYRRHA pour ce genre d'opérations.

Un système de retenue (core restraint) a également été introduit, lequel permet de bloquer le cœur du réacteur dans la cuve du réacteur. Pour MYRRHA, les assemblages de combustible

PRÊT POUR L'AGRÉMENT

Parallèlement au projet, les critères de sûreté pour MYRRHA ont également évolué en 2011. L'accident de Fukushima a inévitablement eu un impact sur le timing et l'approche du parcours d'agrément. Outre les exigences légales spécifiques pour l'obtention d'une licence pour ce type d'installation nucléaire, une pré-autorisation a été mise en place par l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN). Bien avant la rédaction des rapports de sûreté et autres requis, les experts de l'AFCN ont déjà été informés en détail dans le courant de 2011 sur les principales composantes de MYRRHA. L'échange d'informations à ce stade, combiné au support technique du Conseil Scientifique de l'AFCN, a révélé certains points prioritaires. L'impact de ces points en matière de sûreté, doit être étudié. Ceci conduira en fin de compte à un projet adapté pour lequel il convient de démontrer qu'il satisfait aux objectifs et exigences de l'AFCN.

MYRRHA comprend des innovations technologiques assorties de plusieurs applications, l'utilisation de techniques et matériaux existants allant de pair avec la recherche et le développement. En raison du caractère innovant de l'installation, la pré-autorisation lancée en 2011 durera selon les estimations trois ans, suivie de la phase d'agrément proprement dite, basée sur l'évaluation des rapports établis en matière de sûreté, de sécurisation et d'impact environnemental. Un plan pour les déchets est également nécessaire et ce, aussi bien pour l'exploitation que pour le démantèlement de MYRRHA, et le permis de bâtir doit être en ordre.

auront une densité inférieure au fluide réfrigérant composé de plomb-bismuth, ce qui les fera flotter. Le combustible est fixé en haut d'une grille. Mais un tremblement de terre majeur pourrait secouer toute la cuve, et les assemblages seraient dès lors susceptibles de se rapprocher davantage que prévu. Pour éviter qu'ils ne se touchent, les concepteurs ont développé un mécanisme de blocage, un système qui bloque les assemblages de combustible afin d'exclure tout risque.

Le projet neutronique du cœur a lui aussi été optimisé. Par rapport à l'ancienne variante de MYRRHA, on a opté pour une légère adaptation de la configuration des combustibles. Initialement, le calcul de la répartition neutronique se faisait uniquement au moyen de combustible frais (ledit cœur 'beginning-of-life'). Ce calcul donnait une première indication des performances du système. Une estimation était ensuite faite pour les cœurs contenant un mélange de nouveaux et d'anciens assemblages. Il est à présent possible, grâce au développement du code de calcul ALEPH, de calculer un cycle d'équilibre dans le cadre duquel un système de déplacement peut être analysé pour les assemblages dans le cœur.

La partie non nucléaire prend également forme

En 2011, tous les systèmes non nucléaires ont été définis (systèmes de refroidissement secondaire et tertiaire, ventilation, cellules chaudes, etc.) et développés de manière conceptuelle. On a ainsi eu pour la première fois un aperçu de l'installation dans son ensemble. Tous les systèmes sont décrits dans un cahier des charges sur la base duquel le bureau d'étude externe entamera ses travaux début de 2013.





La sûreté grâce à Mère Nature

L'accident qui s'est produit dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi au Japon n'est pas resté sans conséquences pour l'équipe de concepteurs de MYRRHA. Plusieurs experts se sont investis dans la réalisation de tests de résistance, tests auxquels le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire a lui aussi été soumis. En outre, l'accident qui a touché le Japon a confirmé que les concepteurs de MYRRHA avaient, il y a des années de cela, déjà fait les bons choix.

Interview avec
Paul Leysen, responsable
de la Conception de
Systèmes nucléaires,
Rafaël Fernandez, responsable
de la Conception du Système
primaire, et **Gert Van den Eynde**,
responsable de la Physique de
Systèmes nucléaires

Paul Leysen: Lorsque nous avons entendu ce qui s'était passé à Fukushima, nous avons tout de suite su à quoi nous devions nous attendre. Au sein du projet MYRRHA, plusieurs personnes ont en même temps commencé à travailler sur des études dans le cadre des tests de résistance. L'ingénieur et l'architecte ont participé à l'analyse de la stabilité d'un certain nombre de bâtiments du SCK•CEN. Notre expert en électricité a lui aussi consacré beaucoup de temps à ces tests de résistance. En règle générale, Fukushima a eu pour effet que l'AFCN a imposé des exigences de sûreté plus strictes pour la construction de nouvelles installations telles que MYRRHA. La résistance par rapport aux tremblements de terre doit ainsi être augmentée, ce qui implique que les murs doivent être plus épais ou contenir davantage de béton armé. Mais Fukushima a aussi démontré que les choix opérés au départ, étaient corrects. Notre philosophie de base était que l'ensemble du système de refroidissement du réacteur devait fonctionner de manière passive. En cas d'urgence, il doit pouvoir se mettre en mode de sécurité sans intervention humaine ou source d'énergie externe. Ce principe, que nous avons appliqué dès le départ dans MYRRHA, a maintenant été défini par l'AFCN comme une exigence absolue.

Rafaël Fernandez: Nous n'avons pas besoin d'électricité, ni d'intervention extérieure. Les lois physiques de Mère Nature font en sorte que le réacteur se refroidit. C'est l'essentiel. Nous avons prévu pour le refroidissement quatre circuits redondants. Imaginez que suite à un crash d'avion, on perde une partie du système. Dans ce cas, on dispose encore de trois circuits pour le refroidissement. Ces circuits sont indépendants, et un seul suffit. Même si le dernier système tombe en panne, on a encore un système de refroidissement supplémentaire qui fonctionne grâce à la circulation naturelle de l'air ambiant. La totalité du projet MYRRHA a été conçu de telle manière que de l'électricité, des diesels de secours ou une intervention humaine ne sont pas nécessaires. C'était le principal problème à Fukushima. Suite au tsunami, tous les systèmes de secours étaient en panne et les gens ne savaient entreprendre aucune action, comme apporter des diesels de secours.

L'accident de Fukushima a donc d'une certaine manière confirmé les choix qui ont été opérés pour la conception de MYRRHA ?

Rafaël Fernandez: Tout à fait. Ce qui s'est passé à Fukushima a confirmé que nous avons conçu un bon système de refroidissement. Il n'y avait en fait encore aucune obligation en termes de refroidissement redondant et passif. Après l'accident, l'AFCN nous a demandé ce qui se passerait si une catastrophe telle que celle de Fukushima se produisait chez nous, un tremblement de terre ou un autre phénomène externe ayant un impact aussi extrême. Nous leur avons montré notre projet et ils ont bien vu que nous avons tout prévu dès le début.

“ *Lorsque nous avons entendu ce qui s'était passé à Fukushima, nous avons tout de suite su à quoi nous devions nous attendre.* ”

De telles mesures étaient donc depuis des années déjà incluses dans la conception ?

Paul Leysen: C'était en effet le cas pour le système primaire, la partie nucléaire du réacteur. Mais nous n'avons pas encore calculé ce qui serait nécessaire pour étendre ces mesures à la partie non nucléaire de l'installation. Ce point a fait l'objet d'études approfondies avec les partenaires européens en 2011. Nous avons aujourd'hui trouvé une solution qui est une nouvelle fois unique au monde : MYRRHA sera la première installation nucléaire dont tous les systèmes essentiels seront passifs.

L'accident de Fukushima a-t-il encore influencé le projet MYRRHA d'une autre manière ?

Gert Van den Eynde: Nous avons déjà entamé en 2011 l'analyse des effets d'accidents majeurs potentiels. Cette analyse s'est en effet accélérée suite aux événements de Fukushima. Un accident majeur dans une centrale nucléaire a pour effet que le cœur du réacteur est gravement déformé ou endommagé. On suppose alors que l'installation est perdue, mais il faut bien entendu veiller à minimiser l'impact sur l'homme et l'environnement. Nous avons mis sur pied une étude importante avec des experts du KIT allemand, le Karlsruhe Institute of Technology. Ceux-ci ont développé le code de calcul SIMMER pour des réacteurs tels que MYRRHA. Il s'agit de l'un des codes de référence pour prédire l'impact d'accidents majeurs. L'un de nos collaborateurs a été formé sur place. Nous développons les modèles et analysons les résultats ensemble. Ces activités étaient déjà prévues, mais suite à la catastrophe de Fukushima, les analyses ont démarré anticipativement.

Nouvelle technologie testée en pratique

Les pièces mobiles survivent-elles dans le plomb-bismuth ?

Même si la première pierre de MYRRHA doit encore être posée, des ingénieurs et chercheurs du SCK•CEN s'affairent à la réalisation de tests physiques dans des installations d'essai. Plusieurs systèmes ont été mis en service à cet effet en 2011.

L'un des systèmes les plus marquants est RHAPTER (Remote HANDling Proof of principle TEst Rig). Cette installation permet de tester le comportement de pièces mobiles dans le plomb-bismuth, le métal liquide qui sert de fluide frigorigène dans MYRRHA.

RHAPTER est en service depuis septembre 2011. Il s'agit d'une cuve d'essai remplie de 50 litres de plomb-bismuth et contenant toute une série d'instruments de test. Deux axes verticaux ont été placés dans la cuve, un axe rapide et un axe lent. Plusieurs composants devant être testés y ont été fixés. Une première phase devait porter sur les roulements à billes du bras robotique de MYRRHA, mais l'installation est conçue de telle sorte

qu'il est possible de tester quasi tous les composants cruciaux, tels que les pignons, ressorts, etc. Les composants tournent dans RHAPTER suivant une poussée bien définie et l'usure peut être mesurée avec précision.

Etude expérimentale authentique

Le comportement de pièces mobiles dans le plomb-bismuth n'avait encore jamais fait l'objet de tests approfondis. On évite

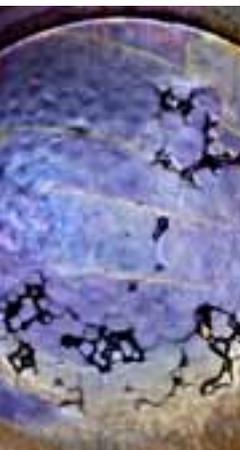


généralement, dans l'industrie, de placer des composants tels que les coussinets d'une pompe dans le plomb parce que l'on en sait encore trop peu sur le comportement de ces pièces mobiles. Mais c'est impossible à éviter dans MYRRHA. La stratégie consiste à utiliser le plus possible de composants existants et d'observer ensuite expérimentalement dans RHAPTER comment ces composants réagissent dans le plomb-bismuth.

Le métal liquide place les ingénieurs devant des défis spécifiques. Pour commencer, il est impossible de lubrifier les pièces et le plomb-bismuth proprement dit n'a pas non plus d'action lubrifiante parce qu'il est trop liquide. La corrosion est un autre problème. Les matériaux testés sont en principe peu sujets à la corrosion à condition que la concentration d'oxygène dans le plomb-bismuth soit maintenue dans certaines limites. Mais parce que l'on préfère le certain à l'incertain, l'action corrosive du plomb-bismuth est également étudiée.

QU'EST-CE QUE LE PLOMB-BISMUTH ?

Le plomb-bismuth est le métal liquide qui sert de fluide réfrigérant dans MYRRHA. Le plomb-bismuth n'est pas visqueux. Au contraire, il est plus fluide que l'eau. Le plomb-bismuth pur est opaque et ressemble à un miroir. Mais alors un miroir bien épais. Un litre du mélange a une masse de pas moins de 10 kilos. Le mélange étant littéralement lourd comme du plomb, on ne verra pas l'acier, par exemple, couler dans un fût de plomb-bismuth, mais plutôt flotter. Un autre aspect est le phénomène d'oxydation. L'effet réfléchissant est en effet très éphémère. Au contact de l'oxygène, la surface s'opacifie immédiatement par l'effet de l'oxydation. Une grosse pellicule d'oxydes de plomb se forme. Ces petites particules sont très dures et peuvent causer beaucoup de dégâts aux pièces mobiles de l'installation. La température de fusion du plomb-bismuth est nettement inférieure à celle du plomb et du bismuth pris séparément. La température de fusion relativement basse a un impact positif sur la durée de vie des composants mécaniques et des matériaux utilisés. Le plomb-bismuth est surtout utilisé dans l'électronique et le sera donc bientôt aussi pour refroidir des réacteurs innovants.



Le programme de test dans son ensemble dure jusqu'après 2014, mais une réponse doit déjà être apportée avant cette date à la question de savoir si les pièces examinées peuvent être utilisées. La première phase comprend la détermination de la meilleure ébauche et du meilleur choix de matériaux pour les composants de MYRRHA. Des tests d'endurance viendront ensuite en vue d'examiner la fiabilité des composants et de vérifier de quelle manière celle-ci peut encore être améliorée.

Les nouvelles installations d'essai se succèdent à un rythme soutenu

HELIOS 3 a également été construit en 2011. Il s'agit d'une installation de fusion et de conditionnement produisant du plomb-bismuth pur ayant une teneur en oxygène optimale en vue de minimiser l'action corrosive.

D'autres projets se trouvent encore sur la table à dessin. LILIPUTTER est une boucle de taille réduite permettant de définir le comportement d'une pompe à vis dans le plomb-bismuth. Elle sera utilisée dans le futur pour l'étude des filtres. E-SCAPE est un modèle réduit de MYRRHA permettant de caractériser le flux du fluide réfrigérant. Des éléments de chauffage électriques doivent simuler la chaleur du combustible. COMLOT est, pour sa part, une boucle représentant un canal de combustible grandeur nature de MYRRHA. CRAFT étudie la corrosion de matériaux dans le plomb-bismuth et MEXICO observe le transport de masse d'oxygène dans une boucle à plomb-bismuth.

Modèles pour initiés

La quête des matériaux idéaux pour les réacteurs à fusion

La production d'énergie terrestre suivant les mêmes principes que la production d'énergie solaire, est une idée très attrayante. La fusion nucléaire est à l'étude depuis déjà des décennies et une équipe de projet internationale s'est lancée avec ITER, à Cadarache, dans le sud de la France, dans la construction du premier réacteur à fusion expérimental. Les scientifiques et les ingénieurs ont toutefois encore de nombreux défis à relever. Le groupe d'expertise Matériaux de Structure du SCK•CEN s'attaque d'ores et déjà à l'un de ceux-ci.

La sélection de matériaux appropriés pour les réacteurs à fusion n'est pas une tâche facile. Dans un réacteur à fusion, la cuve du réacteur doit pouvoir supporter des températures extrêmement élevées, allant de 600 à 1 000 °C. Le flux neutronique est aussi beaucoup plus élevé que dans un réacteur à fission traditionnel, où la fission nucléaire constitue la source d'énergie. Un autre problème est que ces conditions extrêmes ne peuvent pas être simulées dans un réacteur à fission. Mais même si

les conditions ne sont pas les mêmes, il est possible de tester les matériaux. Des modèles de calcul sont développés afin de pouvoir tirer par après des conclusions judicieuses des résultats. L'analyse actuelle se concentre sur l'extrapolation de données et méthodes expérimentales existantes visant à caractériser les matériaux.

La simulation n'est pas une option

Certains types d'acier ferritique susceptibles de servir de matériaux de structure pour les réacteurs à fusion, font l'objet d'analyses. Le tungstène entre potentiellement en considération pour le matériau au contact avec le plasma brûlant. Ce matériau recouvrant l'intérieur de la cuve du réacteur, forme la première barrière. Il doit faire en sorte que le plasma

reste confiné. Le matériau doit avoir d'excellentes propriétés thermiques, mais là n'est pas le seul critère. Lorsqu'il sera retiré du réacteur lors du démantèlement, il contiendra du tritium radioactif. C'est la raison pour laquelle il ne peut pas éclater au moindre choc, comme le verre, par exemple. Les matériaux de structure utilisés pour construire des réacteurs à fusion doivent donc être suffisamment ductiles. Si malgré tout ils se brisent, cela doit se faire de manière contrôlée. Il existe autrement dit un besoin de matériaux dotés de propriétés mécaniques très prévisibles.

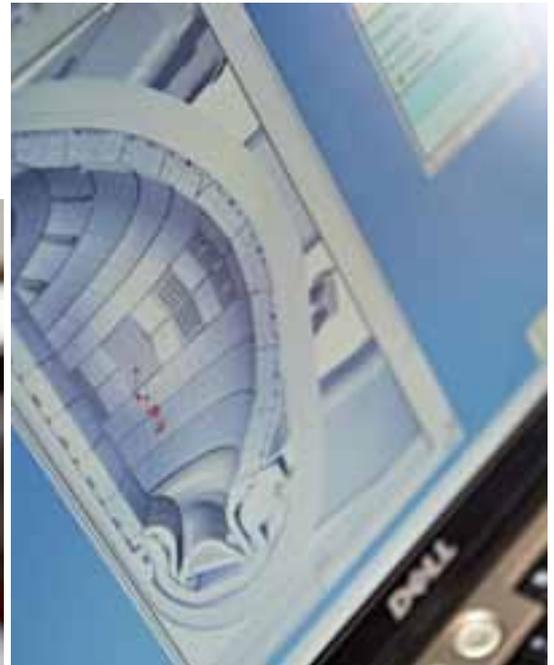
Pour développer des modèles fiables capables de prédire correctement le comportement de ces matériaux, des données

sont collectées à différents niveaux : tant les changements à l'échelle atomique que les effets mécaniques visibles à l'œil nu. Il s'agit en premier lieu de comprendre comment les irradiations causent des dégâts au niveau atomique. On examine ainsi des matériaux qui ont été irradiés dans le BR2 sous un microscope électronique avant de les comparer à des matériaux identiques qui n'ont pas été irradiés. On peut en déduire quels changements sont intervenus dans ces circonstances spécifiques. Les matériaux subissent ensuite divers tests mécaniques. Les résultats sont mis en rapport avec les changements survenus dans les matériaux suite à l'irradiation. Si au final les modèles sont capables de fournir de bonnes explications pour ces données expérimentales, c'est qu'ils sont fiables. L'objectif ultime est de déterminer si les matériaux satisfont ou non aux exigences.

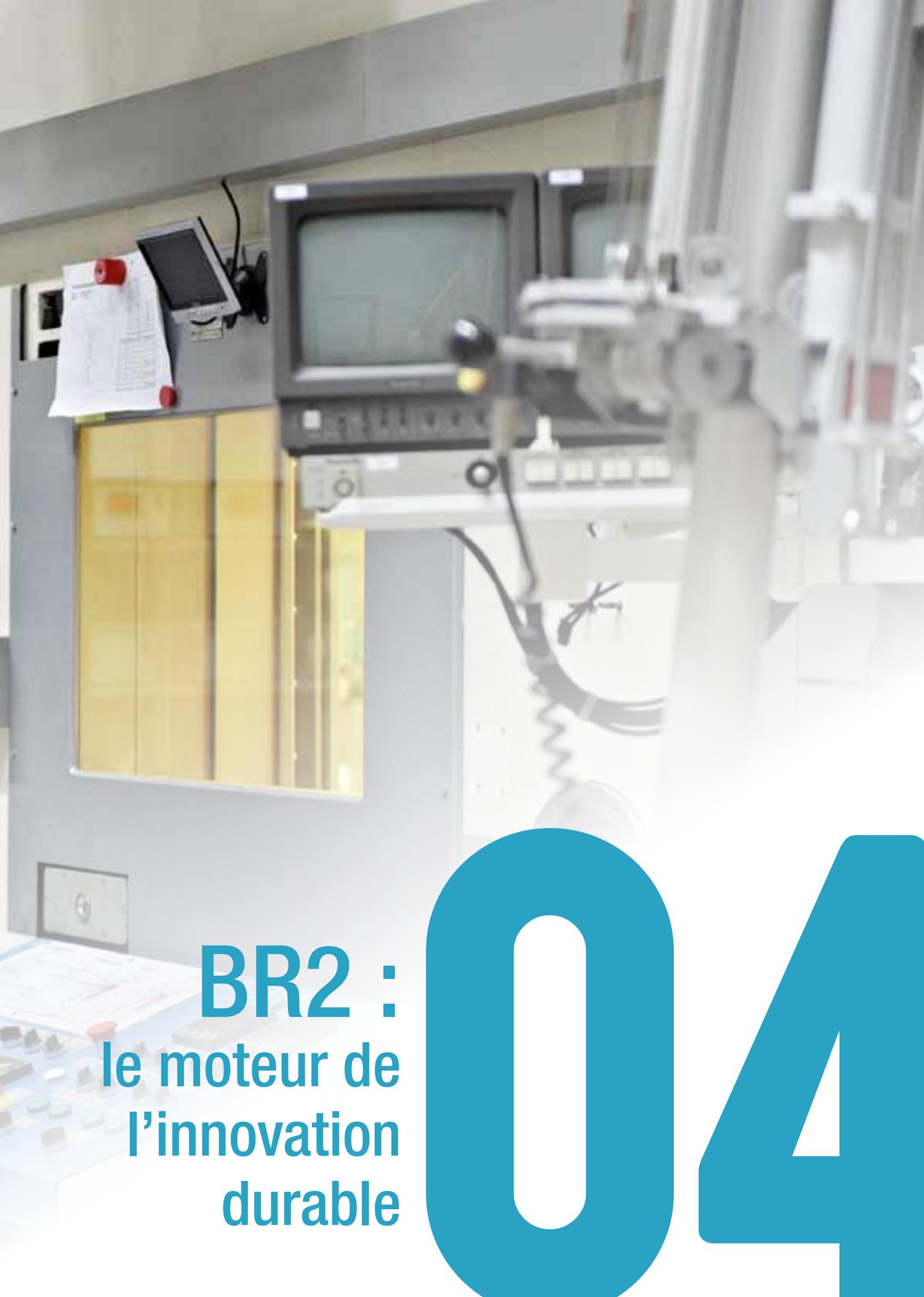
Le choix opéré confirmé dans la pratique ?

Les matériaux utilisés pour le réacteur à fusion nucléaire expérimental international ITER, un projet auquel participe également le SCK•CEN, ont entre-temps été sélectionnés. ITER demeure toutefois très intéressant pour les chercheurs qui développent des modèles. Une fois qu'ITER sera opérationnel, un grand nombre de données relatives aux matériaux utilisés seront disponibles.

Il s'agira d'un test pratique précieux pour les modèles qui sont développés à l'heure actuelle. Leur validité peut aujourd'hui être évaluée sur la base de mesures réelles. L'unité Modélisation et Microstructure de Matériaux de Structure du SCK•CEN procède dans l'intervalle déjà à des analyses pour le prochain grand projet de fusion nucléaire, le réacteur DEMO. DEMO devra démontrer qu'il est effectivement possible de produire de l'électricité par fusion nucléaire. Les recherches menées par le SCK•CEN à l'heure actuelle peuvent grandement contribuer à l'optimisation des matériaux de fusion existants et au développement de nouveaux types de matériaux.







BR2 :
le moteur de
l'innovation
durable

04

Moins de déchets grâce à de nouveaux types de combustible

Le combustible thorium-plutonium prêt pour le test ultime

L'Europe soutient depuis longtemps déjà la recherche dans le domaine des technologies novatrices minimalisant la production de déchets radioactifs dans le cadre de la production d'électricité dans les centrales nucléaires. Il s'agit avant tout des réacteurs à eau légère ou LWR, dont sont équipées la plupart des centrales nucléaires en Europe.

puisse un jour être introduit dans le réacteur d'une centrale nucléaire, n'étaient plus possibles dans le cadre du premier projet en raison du temps écoulé. Donner une suite à cette étude très prometteuse était donc plus que souhaitable. Le SCK•CEN a pu jouer un rôle de pionnier en la matière grâce à son expertise dans le domaine des matières combustibles et de l'analyse physico-chimique et radiochimique de telles matières. Les tests et analyses ont principalement été effectués dans le réacteur de recherche BR2, le Laboratoire de Haute et de Moyenne Activité et le Laboratoire d'Analyse Radiochimique.

En 2005, le SCK•CEN a initié le projet européen LWR-DEPUTY (Light Water Reactor fuels for DEep burning of PU in Thermal sYstems). Le Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire a coordonné le programme de recherche auquel participaient une dizaine d'instituts de recherche et de partenaires industriels. Le projet était basé sur l'ancien projet européen OMICO (2000-2006) qui avait engrangé quelques beaux résultats, en particulier en ce qui concerne un nouveau combustible nucléaire à base de thorium et de plutonium. Ce combustible avait été développé, irradié et partiellement analysé. Mais les examens post-irradiatoires, qui sont essentiels avant qu'un nouveau type de combustible

Evoluer ou penser hors des sentiers battus ?

Les chercheurs ont exploré deux voies au sein du projet LWR-DEPUTY. La première concerne l'exploration de matériaux très innovants, tels que les combustibles métal-céramique, également appelés cermets. Plusieurs types ont été développés et testés dans le BR2. Les tout premiers résultats sont d'ores et déjà positifs, mais il ne sera possible de tirer des conclusions fondées que dans quelques années, lorsque ces combustibles nucléaires auront été irradiés sur une plus longue période.

Les chercheurs se sont toutefois surtout concentrés sur la mise au point des recherches relatives au combustible thorium-plutonium, entamées au début de ce siècle. Ce combustible se comporte bien lors de l'irradiation en réacteur et ressemble très fort à l'oxyde de plutonium-uranium, mieux connu sous le nom de MOX. Une différence capitale est toutefois que le combustible composé de thorium et de plutonium entraîne une plus grande diminution nette de la production de plutonium. En effet, le thorium-232 ne produit

Leo Sannen

Directeur d'institut Science des Matériaux nucléaires

“ Grâce à la qualité - appréciée dans le monde entier - de notre réacteur de recherche et des laboratoires correspondants, nous sommes en mesure de répondre à des questions sociétales concernant la sûreté des réacteurs, la gestion adéquate des déchets nucléaires et la sécurité de l'approvisionnement des radio-isotopes médicaux. ”



pas d'actinides (plutonium, américium et curium). Ces éléments sont considérés comme très problématiques pour l'homme et l'environnement en raison de leur toxicité élevée et de leur longue durée de vie.

Le thorium-plutonium nous rapproche encore un peu plus d'un nouveau type de combustible

Le combustible thorium-plutonium n'est pas considéré comme l'alternative ultime, mais plutôt comme une solution intermédiaire. Il pourrait être utilisé pendant une vingtaine d'années pour permettre de passer progressivement des réacteurs exploitant la fission d'uranium aux réacteurs fonctionnant au thorium proprement dits.

Le projet LWR-DEPUTY a repris le fil des recherches antérieures avec une analyse approfondie des propriétés thermomécaniques du combustible nucléaire. Cette analyse permet de collecter des données fiables donnant une idée correcte du comportement du combustible expérimental. Une analyse physico-chimique non destructive donne un bon aperçu des changements qui sont intervenus pendant l'irradiation, tandis qu'une analyse radiochimique destructive permet de déterminer avec précision

quels isotopes ont été brûlés et formés, et en quelle quantité. Ces connaissances sont essentielles pour toutes les étapes du processus et sont d'une importance capitale en termes de sûreté. Certains actinides qui sont produits dans les nouveaux types de combustible requièrent en effet des mesures de protection spécifiques.

La deuxième meilleure option

Afin de réduire la production de déchets liée à la production d'électricité dans les centrales nucléaires, il est possible de développer de meilleures solutions pouvant être mises en œuvre dans les centrales nucléaires d'aujourd'hui. Dans le cadre de la recherche mondiale, cette approche pragmatique est toutefois considérée comme la deuxième meilleure option. Investir dans une nouvelle génération de réacteurs, tels que MYRRHA, par exemple, est une autre option. Les nouveaux concepts de réacteur et les développements technologiques les plus récents offrent sans aucun doute de meilleures opportunités pour réduire la production de déchets nucléaires.

La préférence pour l'option non optimale dans le cadre du projet LWR-DEPUTY, est basée sur deux raisons. D'une part, on ne sait pas encore prédire à 100% si l'approche novatrice des nouveaux types de réacteur comblera effectivement les attentes très élevées. D'autre part, l'introduction de ces réacteurs à l'échelle industrielle peut encore durer 40 ans. De ce point de vue, il est prudent d'examiner également la deuxième meilleure option.

Prêt pour le test ultime

Le projet LWR-DEPUTY s'est achevé fin septembre 2011. Grâce à une collaboration très réussie avec tous les partenaires, l'étude représente une étape importante dans l'introduction d'un nouveau combustible nucléaire produisant peu de déchets. Les analyses ont, pour le combustible thorium-plutonium, généré un ensemble de données permettant de procéder aux calculs de sûreté nécessaires pour l'étape ultime, à savoir l'irradiation du combustible dans un vrai réacteur. C'est-à-dire plus dans le réacteur de recherche BR2, mais dans le réacteur d'une centrale nucléaire.

Les recherches axées sur les combustibles sortant des sentiers battus, ont également généré des résultats intéressants. Une étude plus approfondie de ces types de combustible innovants est nécessaire, mais les résultats des premières irradiations dans le réacteur BR2 démontrent qu'ils ont un réel potentiel.



L'uranium faiblement enrichi pour les réacteurs de recherche

Les fils de cadmium comme absorbeur de neutrons

Sous l'impulsion des Etats-Unis, des efforts sont fournis depuis déjà quelques décennies au niveau mondial afin de faire baisser l'utilisation d'uranium hautement enrichi dans les applications civiles et réduire ainsi le risque de prolifération des armes nucléaires. De nombreuses études ont plus particulièrement été menées en ce qui concerne les réacteurs de recherche dans le domaine du passage de l'uranium hautement enrichi (HEU ou highly enriched uranium) au combustible nucléaire à base d'uranium faiblement enrichi (LEU ou low enriched uranium).

Une part importante des réacteurs de recherche a été reconvertie avec succès ces dernières années. Mais pour un certain nombre de réacteurs aux propriétés spécifiques, dont le très performant réacteur BR2 du SCK•CEN, un type de combustible optimal à base d'uranium faiblement enrichi doit encore être développé. Le Centre d'Etude de l'Energie nucléaire est l'un des chefs de file dans le cadre de cette étude et collabore étroitement avec des partenaires américains et français à cet égard. Une attention est accordée en particulier pour le BR2, à la capacité d'absorption des neutrons. Cette information est déterminante pour l'efficacité du combustible et la sûreté. Un élément combustible doté d'un nouveau type d'absorbeur de neutrons a été soumis à cet effet en 2011 à un test ultime dans le réacteur BR2.





Steven Van Dyck

Responsable du réacteur BR2

Nouvel absorbeur

Le combustible utilisé dans le réacteur BR2 est actuellement composé d'un alliage d'uranium hautement enrichi et d'aluminium contenant d'infimes concentrations de samarium et de bore. Si l'on utilisait de l'uranium faiblement enrichi avec de l'aluminium, il n'y aurait plus de place pour le samarium et le bore. Une alternative possible est une configuration dans le cadre de laquelle le cadmium ferait office d'absorbeur de neutrons. Pour examiner cette option, un nouvel élément combustible a été développé, où des fils de cadmium ont été introduits dans les espaces entre les plaques de combustible et les supports. Le but est de déterminer si le combustible s'épuise de manière au moins aussi sûre et efficace dans le réacteur.

La nouvelle configuration a été testée dans le réacteur BR2 en combinaison avec le combustible nucléaire actuel à base d'uranium hautement enrichi. Les irradiations des éléments combustibles au moyen de fils de cadmium pendant la totalité du cycle de vie démontrent que l'absorption neutronique correspond aux prévisions théoriques. Aucune dégradation de la structure des fils absorbants n'a été constatée, de même qu'aucune ablation indésirable de matière dans l'eau réfrigérante.

Sûr et efficace

L'élément combustible testé présente une forme légèrement différente par rapport aux éléments existants. Dans le deuxième volet de l'étude, on a examiné si cette légère adaptation physique était compatible avec les propriétés du fluide réfrigérant primaire du réacteur BR2 et surtout avec la vitesse d'écoulement de ce fluide réfrigérant à travers les éléments combustibles. L'analyse de ces propriétés hydrauliques a démontré qu'il n'existe pas de différence significative avec les éléments standard.

Grâce à la campagne d'irradiation des éléments combustibles pourvus de fils de cadmium en combinaison avec du combustible à l'uranium hautement enrichi, les qualités sur le plan de l'absorption neutronique et le contrôle de la réaction ont été étudiés et démontrés de manière approfondie. L'efficacité de la consommation de combustible et la sûreté ont ainsi été établies. En revanche, la composition du combustible faiblement enrichi n'a pas encore été mise au point. Plusieurs expériences sont en cours en vue de déterminer le type le plus approprié. Le développement de ce combustible à l'uranium faiblement enrichi représente un véritable défi, mais on s'attend à ce que le passage progressif du combustible à l'uranium hautement enrichi au combustible à l'uranium faiblement enrichi pour le BR2 puisse démarrer avant la fin de la décennie.

Des radio-isotopes au moyen d'uranium faiblement enrichi

Une reconversion vitale

L'uranium hautement enrichi (HEU) doit non seulement céder la place à l'uranium faiblement enrichi (LEU) pour le combustible des réacteurs de recherche, mais aussi pour la production de radio-isotopes à des fins médicales. Des experts du SCK•CEN et quelques partenaires développent des solutions afin de rendre une telle reconversion possible dans le réacteur BR2. Ils ne peuvent malheureusement pas profiter à cet égard des efforts déployés par les collègues qui mettent au point le nouveau combustible LEU.

Une cible de radio-isotopes ressemble pourtant à s'y méprendre à une plaque de combustible de réacteur, à la différence près qu'elle est utilisée d'une autre manière. Une plaque de combustible produit des neutrons pendant de nombreux cycles, tandis qu'une cible de radio-isotopes ne reste que pendant 150 heures dans un réacteur afin de subir des fissions. La cible est ensuite retirée et traitée le plus rapidement possible auprès de producteurs tels que l'Institut national des Radioéléments (IRE) à Fleurus

(Belgique) ou Covidien aux Pays-Bas, en vue d'en extraire les radio-isotopes médicaux proprement dits. Ces radio-isotopes sont des produits de fission de l'uranium. Il s'agit dans ce cas principalement de molybdène-99.

Les matériaux utilisés pour la fabrication de cibles de radio-isotopes étaient jusqu'à présent quasi les mêmes que ceux utilisés pour les plaques de combustible à l'uranium hautement enrichi. Mais les nouveaux types de combustible faiblement enrichi qui ont été développés pour les réacteurs de recherche ne conviennent pas comme modèle pour des cibles de radio-isotopes parce qu'ils ne sont pas compatibles avec le processus de traitement ultérieur des radio-isotopes. Des travaux de recherche et de développement approfondis sont indispensables pour faire passer les cibles de l'uranium hautement enrichi à l'uranium faiblement enrichi sans perte de production. L'IRE et les autres producteurs de radio-isotopes médicaux ont dès lors opté pour une transition en deux phases.

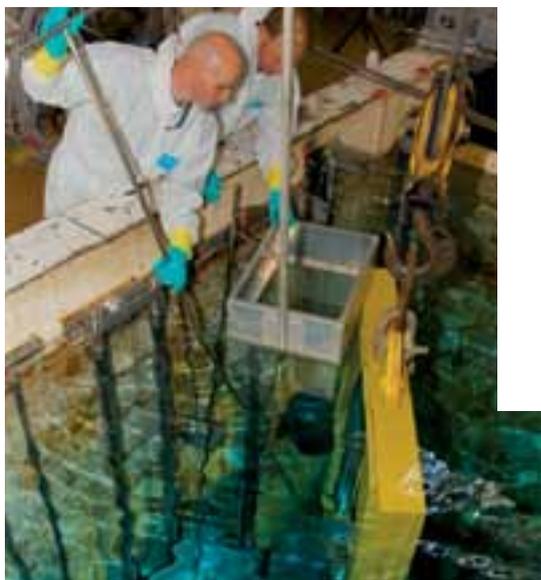
L'approche pragmatique

Dans la première phase, la cible de radio-isotopes existante est adaptée au maximum, sans toucher à la composition. La cible est une petite plaque de quelques millimètres d'épaisseur constituée d'une couche de granules contenant de l'uranium, incorporée dans un agglomérant en aluminium pur. En utilisant plus de granules de combustible et en augmentant ainsi la densité, la cible peut tout de même contenir la quantité d'uranium-235 nécessaire sans que l'on doive procéder à un enrichissement de l'uranium.

La géométrie des cibles sera de ce fait toutefois modifiée.

Le programme de qualification de cette cible LEU a été lancé en 2011. La première tâche consiste à fabriquer les nouvelles plaques. Selon toute probabilité, l'épaisseur de celles-ci augmentera quelque peu, ce qui nécessitera une adaptation de l'infrastructure d'irradiation dans le réacteur BR2. La réalisation d'études de sûreté est également nécessaire pour vérifier si les dispositifs d'irradiation adaptés remplissent tous les critères.

Alors que les producteurs des cibles de radio-isotopes procèdent à des recherches approfondies en vue de la production de plaques adaptées, le SCK•CEN prépare tout pour les premières expériences de qualification dans le BR2. Les irradiations proprement dites des cibles LEU pourraient être entamées dans le courant de l'année 2013. Les examens post-irradiatoires feront l'objet d'un rapport de qualification sur la base duquel les producteurs pourront fabriquer les cibles adaptées et les autorités de sûreté donner leur accord pour une utilisation de routine.



L'intérêt vital de la continuité

Alors que la qualification des nouvelles cibles LEU est en cours, la production au moyen d'uranium hautement enrichi peut se poursuivre. Une interruption pourrait en effet avoir un impact considérable sur la disponibilité de radio-isotopes. Cette continuité résulte du nombre limité de réacteurs qui sont capables de produire du molybdène-99 et de la durée de conservation limitée de celui-ci ; une fois déchargé du réacteur, la moitié du molybdène-99 produit se perd tous les trois jours par décroissance radioactive. Le molybdène-99 est l'isotope mère du technétium-99, le radio-isotope qui est utilisé pour 80% de tous les radiodiagnosics en imagerie médicale. Il ne s'agit en fin de compte pas de matériaux, mais de vies humaines. Le défi est donc important. Pour garantir l'approvisionnement sans interruption ni perte de qualité, la transition se fait par étapes. Le choix s'est en premier lieu porté sur une composition s'écartant peu des cibles actuelles, ne nécessitant aucune adaptation du processus de traitement chez les producteurs.

L'option optimale

Quasi en même temps que la première phase, la deuxième phase a été lancée en 2011. Cette phase permet de voir beaucoup plus loin. Le défi consiste à optimiser la production de radio-isotopes médicaux et à réduire la quantité de déchets résultant du processus de production. La première option développée à l'heure actuelle pour permettre le passage de l'uranium hautement enrichi à l'uranium faiblement enrichi, n'est pas optimale sur le plan de la productivité et de la réduction des déchets.

La phase deux comprend le développement d'un tout nouveau type de cible, dont la composition est modifiée. En utilisant un autre composé d'uranium que les granulés de combustible, le passage de l'uranium hautement enrichi à l'uranium faiblement enrichi peut aller de pair avec une amélioration significative de l'efficacité. Ce changement a toutefois pour effet qu'un certain nombre d'adaptations importantes doivent être apportées aux processus (chimiques) permettant d'isoler le molybdène-99 et de le traiter à des fins d'applications médicales. Les producteurs tels que l'IRE devront intensifier la recherche et le développement dans ce domaine, certes, mais le résultat signifie une forte augmentation du rendement et une réduction de la quantité de déchets. Cette option comportant davantage d'inconnues, le développement et le test demanderont quelques années de plus que l'adaptation des cibles existantes.



Des expériences réalistes soutiennent la sûreté

Tester des matériaux dans des conditions extrêmes

Comment savoir comment se comportent les matériaux utilisés pour la construction de nos centrales nucléaires après des années d'exposition aux irradiations et à d'autres facteurs environnementaux ? Une possibilité est d'irradier des matériaux similaires en accéléré dans un réacteur de recherche et ensuite de les tester. Le SCK•CEN dispose d'une vaste expérience à cet égard avec le boucle CALLISTO dans le réacteur de recherche BR2. Mais il existe encore une autre méthode : simuler fidèlement les conditions d'une centrale nucléaire, ce qui permet d'exposer les matériaux provenant du réacteur proprement dit à une charge normale ou extrêmement élevée.

Comprendre et prédire

Le SCK•CEN étudie ainsi la résistance à la corrosion des matériaux utilisés dans les centrales nucléaires de Doel et de Tihange. L'accent est mis, dans cette étude, sur la corrosion sous tension. Il s'agit d'une forme de corrosion susceptible d'endommager le matériau

suite à la combinaison d'une tension et d'un environnement spécifique, dans ce cas de l'eau de refroidissement. Pour pouvoir déterminer quels dommages risquent d'être causés à un matériau déterminé et à quel moment, on utilise des modèles numériques. Les données expérimentales qui sont nécessaires pour construire un tel modèle, sont le résultat d'une longue série de tests dans une installation d'essai.

Pour l'exécution de tests de corrosion sur des matériaux provenant de centrales nucléaires, le SCK•CEN dispose de deux installations expérimentales ; l'une pour les matériaux non radioactifs et l'autre, quasi identique, sous la forme d'une grande cellule chaude (hot-cell). Il s'agit d'une pièce blindée destinée aux analyses de matières radioactives à l'aide d'un télémanipulateur. Il n'existe qu'une poignée d'installations comparables dans le monde entier. Reproduire exactement les conditions de fonctionnement spécifiques d'une centrale nucléaire requiert en outre une grande expertise technique.

Objets d'étude uniques provenant de centrales nucléaires

Un exemple de pièces métalliques qui sont sensibles à la corrosion sous tension au cœur du réacteur, sont lesdits baffle bolts. Ces boulons en acier inoxydable peuvent devenir fragiles suite aux dégâts causés par les radiations, ce qui pourrait entraîner des fissures sous la tête du boulon, le point le plus sollicité. Pour vérifier cette usure de manière proactive, quelques boulons de la centrale

nucléaire de Doel ont été enlevés et amenés au SCK•CEN pour un examen plus approfondi. Dans la pratique, cela signifie que des experts testent la résistance au chargement de ces pièces hautement radioactives dans une cellule chaude.

Un objet d'étude particulièrement intéressant vient de la centrale nucléaire de Tihange. Il s'agit d'un tube qui se trouvait initialement à l'intérieur du cœur du réacteur. Il faisait office de tube de guidage pour un détecteur mesurant la puissance du réacteur sur la base du flux neutronique dans le cœur. Compte tenu de son emplacement dans le cœur du réacteur, ce tube a subi d'énormes quantités d'irradiations et donne une indication des dommages maximums causés par les radiations aux matériaux contenus dans un réacteur. Il s'agit dès lors d'un objet d'étude très intéressant pour les chercheurs qui étudient les effets de la corrosion, mais aussi très compliqué en raison de la radioactivité élevée. L'expertise unique du SCK•CEN en matière de cellules chaudes arrive à nouveau à point nommé ici.

On distingue en outre une toute autre catégorie de matériaux sensibles à la corrosion sous tension. De nombreux tubes en acier inoxydable sont soudés à la cuve en acier au carbone du réacteur. Les raccords sont faits en alliages de nickel. Des examens ont démontré que ces soudures pourraient, à long terme, être sensibles à la corrosion sous tension. Pour pouvoir étudier le vieillissement du matériau de manière approfondie, le SCK•CEN dispose d'un matériau unique, un morceau de tube soudé d'une centrale nucléaire espagnole qui n'a jamais été mise en service. Des petites plaques sont découpées dans la soudure et testées dans l'installation d'essai. La soudure en nickel génère des informations très utiles sur la sensibilité à la corrosion sous tension.

Tests de charge extrêmes

Le test le plus simple consiste à mettre un morceau du matériau sous tension et à attendre ensuite qu'une détérioration se produise. Ce 'test time-to-failure' indique combien de temps le matériau résiste aux différentes conditions de charge. Des dommages apparaissent plus rapidement en cas de tension élevée. En faisant baisser la contrainte jusqu'à un niveau auquel l'élément ne subit aucune détérioration, il est possible de déterminer ladite limite de contrainte. Une fois la limite de contrainte fixée, elle peut être comparée à la contrainte à laquelle le matériau est exposé dans les réacteurs nucléaires. Tant que ces valeurs ne dépassent pas la limite de contrainte, marge de sécurité comprise, l'intégrité est garantie. Il est évident que cette limite de contrainte doit être une valeur très fiable. C'est pourquoi la qualité de l'installation de test revêt une importance capitale.

Une vaste matrice sera constituée fin 2012 avec les résultats des tests effectués sous différentes contraintes. Des modèles fiables pourront être établis sur cette base afin de prédire le

comportement des matériaux. Une étape suivante consistera à répéter les tests en variant les contraintes, ce qui donnera un aperçu encore plus réaliste de la dégradation du matériau. L'examen des matériaux s'améliore avec les années, mais il n'y a pas que cela ...

DIFFÉRENT ET POURTANT IDENTIQUE

L'installation de test simule le circuit de refroidissement primaire d'un réacteur nucléaire. Le SCK•CEN est parvenu à simuler exactement les mêmes conditions au moyen d'un autoclave version miniature de la cuve du réacteur tenu sous pression par un circuit hydraulique. De l'eau très chaude (~ 320 °C) sous haute pression (~ 150 bar) circule dans ce circuit. La composition de l'eau est aussi précisément la même que dans les circuits de refroidissement primaires des centrales de Doel et Tihange. La chimie de l'eau est très spécifique. Pour prévenir la corrosion due à l'oxygène, l'eau ne contient pas d'oxygène, mais du lithium pour réguler le taux d'acidité et du bore pour contrôler la réactivité dans le cœur. On ajoute également de l'hydrogène pour réduire la corrosion causée par l'eau. L'installation est équipée d'un système de mesure en ligne pour un suivi continu du taux d'acidité de l'eau, des quantités dissoutes d'oxygène et d'hydrogène, et de la conductivité électrique pour le contrôle de la pureté.







2011 :
une année
de rénovations
et d'expansion

05

A portrait of Christian Legrain, a middle-aged man with dark hair and glasses, wearing a dark pinstriped suit, a white shirt, and a purple tie. He is standing with his arms crossed in an office setting. In the background, there is a wooden desk and a blue logo on a wall.

Secrétaire général

Christian Legrain

“

En ce qui concerne la gestion des ressources humaines, 2011 a été une année charnière. Une cinquantaine de nouveaux collaborateurs ont été embauchés, en premier lieu pour MYRRHA. Non seulement ce chiffre exceptionnel, mais aussi la part très importante d'étrangers qui ont été recrutés, constituaient un défi majeur pour notre service du personnel. Nous sommes toutefois parvenus en très peu de temps à nous adapter à cette forte internationalisation, ce qui nous a permis d'accompagner non seulement nos nouveaux collègues, mais aussi leur famille lors de leur arrivée en Belgique. Et ce n'est qu'un début. Au total, le SCK•CEN compte à présent 37 nationalités différentes. Cette situation nous met non seulement face à des défis, mais elle nous offre aussi de magnifiques opportunités que nous ne manquerons pas d'exploiter.

”

Rénovations en profondeur et nouveaux projets

La rénovation durable respecte l'architecture authentique

2011 a été l'année des grands projets pour les Services Techniques Centraux du SCK•CEN. Tant la rénovation du bâtiment BR1 que le remplacement d'une importante conduite d'évacuation des eaux usées vers Belgoprocess sont de vastes chantiers recouvrant plusieurs mois de travail. De plus grands défis sont encore en vue.

Nouvelles ailes pour le bâtiment BR1

Le SCK•CEN a entamé en 2010 la rénovation des ailes sud et nord du bâtiment BR1. Ce bâtiment abrite, outre le réacteur BR1, également plusieurs laboratoires et une part importante de l'administration. L'aile nord a été réceptionnée en mars 2011. La rénovation de l'aile sud a été entamée peu après. Ce fut un grand défi pour les services techniques. Cette aile abrite en effet aussi le réacteur VENUS et l'accélérateur de particules du projet GUINEVERE. Cette installation devait impérativement rester opérationnelle pendant la durée des travaux, avec toutes les garanties nécessaires sur le plan de la sûreté. Cela signifiait, entre autres, que l'alimentation en eau et en électricité devait être garantie. Il y a en outre encore dans le bâtiment deux laboratoires dans lesquels les activités ne pouvaient pas être interrompues. Les ingénieurs et les techniciens ont dû développer des trésors d'imagination pour ne pas perturber le fonctionnement, alors que l'entièreté du bâtiment était dénudée, les murs extérieurs partiellement abattus, la menuiserie enlevée, et le chauffage, les canalisations et l'électricité, entièrement remplacés.

Comme la plupart des bâtiments présents sur le site du SCK•CEN, le bâtiment BR1 a près de 60 ans. Outre l'entretien habituel, quelques réparations mineures ont été effectuées au cours des décennies précédentes. Les locaux ont aussi parfois revêtu une toute autre fonction au fil des ans, des bureaux devenant des laboratoires, et inversement. Une rénovation en profondeur s'imposait donc. Ne serait-ce que parce que l'infrastructure ne





satisfaisait plus aux normes actuelles en matière de confort et de consommation énergétique.

Les fenêtres à simple vitrage ont, lors des travaux de rénovation, été remplacées par des châssis à valeur isolante élevée, et le toit a également été isolé conformément aux normes actuelles. Ceci, combiné à d'autres interventions telles qu'un système d'éclairage commandé par des détecteurs de présence et des stores automatiques, assure une diminution impressionnante de la consommation d'énergie. On atteint dans les parties rénovées une performance énergétique de 95 kWh/m². Avant la rénovation, c'était encore de 350 à 400 kWh/m². La consommation énergétique est donc presque quatre fois inférieure.

Un défi esthétique de taille consistait à conserver le caractère typique des bâtiments. On a également cherché, pour les rénovations parfois très radicales, comme les ailes du bâtiment BR1, à respecter au maximum le plan initial de l'architecte Jacques Wybauw. Des briques similaires ont ainsi été utilisées pour les murs extérieurs, la disposition typique des fenêtres a été conservée et la traverse du toit a été maintenue.

Les travaux à l'aile sud se sont achevés fin 2011. La partie rénovée a été mise en service au début de l'année 2012.

Hébergement moderne pour les animaux

Le SCK•CEN a encore d'autres projets de construction spécifiques. Les études relatives à la construction d'un logement pour animaux ont été achevées en 2011. Cette animalerie abritera les souris qui sont utilisées pour les études sur les effets des radiations, comme dans le cadre du projet CEREBRAD (voir p. 30). Le Centre d'Etude se sert actuellement de l'animalerie du VITO, mais, celui-ci fermant ses portes dans un avenir proche, le SCK•CEN devra avoir sa propre infrastructure d'ici 2013. Les Services Techniques Centraux ont, pour la conception de ce bâtiment spécial, fait appel à l'expérience de Janssen Pharmaceutica et engagé un bureau d'étude spécialisé.

Le logement pour animaux aura une superficie de 450 m². Pour des raisons de sécurité biologique, l'infrastructure devra le plus possible être exempte de pathogènes, de sorte à éviter au maximum la prolifération de microbes, virus, etc. Cela signifie notamment que tous les murs devront être lavables et que tout le matériel qui sera amené dans le bâtiment devra pouvoir être désinfecté. Des exigences particulières s'appliquent également en matière de ventilation et de contrôle d'accès pour l'animalerie.

1 kilomètre de nouvelles conduites

Quiconque a visité le SCK•CEN au cours de ces derniers mois, n'a pas pu passer à côté. Tant le long de la voie d'accès que sur le site proprement dit, des travaux sont en cours pour le placement d'une conduite d'évacuation des eaux usées du SCK•CEN vers le site attenant de Belgoprocess. Il s'agit des eaux usées du Laboratoire de Haute et de Moyenne Activité et du réacteur BR2. Ces eaux sont stockées dans des réservoirs et régulièrement pompées vers Belgoprocess, qui se charge du conditionnement et du traitement. La conduite existante est entièrement remplacée par une nouvelle conduite à double paroi. Une tranchée de 3 mètres de profondeur et de 5 mètres de large doit à cet effet être creusée sur une longueur totale de 1 kilomètre. La nouvelle conduite est dotée d'un système de détection de fuites très sensible réagissant immédiatement en cas de fuite d'une simple goutte d'eau en provenance de la paroi intérieure. Le système permet également une localisation automatique de la fuite. De plus, les parois intermédiaires seront mises en surpression, ce qui permettra de détecter immédiatement une fuite éventuelle en raison de la baisse de pression atmosphérique dans la paroi intermédiaire. Un puits équipé d'appareils de détection supplémentaires est prévu tous les 60 mètres. La nouvelle conduite menant à Belgoprocess sera mise en service à la mi-2012.

Connaissance et communication

Les formations encore plus à l'honneur

En août 2011, le groupe d'expertise Communication, Formation et Gestion des Connaissances, a été réorganisé. Le volet communication a été repris dans un nouveau groupe d'expertise baptisé Communication. Les formations et la gestion des connaissances demeurent l'activité principale du 'Centre for Education and Knowledge management' (CEK).

73



BESOIN D'INFORMATION

L'un des accents principaux au sein du groupe d'expertise CEK est mis sur le 'Learning Centre'. Ce centre définit pour l'ensemble du SCK•CEN la politique de formation pour le personnel du Centre et les collaborateurs externes, et gère l'ensemble de l'organisation des formations. Le but est d'entretenir et d'augmenter les connaissances et les compétences de tous les travailleurs afin d'optimiser ainsi le rendement et le bien-être sur le lieu de travail.

Le Learning Centre est responsable de tous les aspects qui touchent à l'organisation de formations : définir et analyser les besoins, déterminer l'offre, contacter les formateurs, gérer les inscriptions, assurer l'organisation pratique et le suivi des présences, analyser le feed-back et l'efficacité.

Les formations dispensées au SCK•CEN s'articulent autour de quatre grands thèmes : la sûreté et la sécurité, les sujets techniques et scientifiques, les compétences personnelles et les compétences de gestion, ainsi que l'information sur l'environnement de travail au SCK•CEN. Une banque de données sur mesure a été développée à l'aide du système Microsoft Dynamics CRM en vue de gérer la vaste offre dynamique de formations. Grâce à une application intranet développée en interne, chaque membre du personnel peut introduire des demandes, se faire enregistrer, donner un feed-back et suivre son dossier de formation personnel.

Outre le Learning Centre, CEK continue également à s'attacher à la gestion documentaire et des connaissances par le biais du projet Alexandria, et assure la coordination de toutes les formations proposées par le SCK•CEN aux tiers. 2011 a dès lors été une année de préparation importante pour le lancement de 'l'Academy for Nuclear Science and Technology' du SCK•CEN.

Dès qu'il est apparu que la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi était menacée, le SCK•CEN a été submergé d'appels téléphoniques. Les journalistes des médias les plus divers cherchaient des informations claires et objectives. L'attention de la presse était très internationale, avec notamment des demandes d'interviews de chaînes de télévision américaines et russes. Le SCK•CEN a dénombré au total 165 contacts de presse relatifs à Fukushima et nos experts en technologie des réacteurs et protection contre les radiations ont été invités à venir donner des éclaircissements dans 45 bulletins d'information et autres programmes à la radio et à la télévision. Les experts du SCK•CEN ont également été fort sollicités dans la presse écrite, avec des articles dans 65 journaux et revues belges et étrangers.

Afin de pouvoir répondre à cet afflux de questions avec rapidité et exactitude, une cellule médias spéciale a été créée, chargée de suivre tous les développements de près. Le SCK•CEN a également fait la démonstration à plusieurs reprises, à la demande de la presse, de ses appareils de mesures et de son véhicule d'intervention muni d'un équipement spécial. Donner des explications sur des sujets relevant du domaine de connaissances du SCK•CEN fait partie de notre mission. C'est pourquoi nous avons répondu aux questions de la presse de manière très flexible. Une attitude qui a manifestement été fort appréciée.

“ *Imaginez qu'un accident nucléaire majeur se produise en Belgique. Comment réagirions-nous ?* 'Y a-t-il un risque que quelque chose nous arrive du Japon ?' 'Avons-nous les mêmes centrales nucléaires qu'à Fukushima ?' 'D'ailleurs, qu'est-ce que la radioactivité ? ”





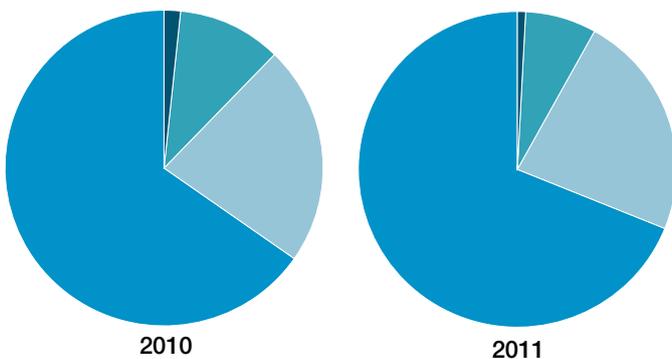
Le groupe d'expertise Communication a vu le jour le 1er août 2011. Le nouveau groupe dépend de la Direction générale. Ses principaux objectifs englobent l'augmentation de la visibilité du SCK•CEN et la consolidation de la connaissance de sa mission et de ses activités.

Le nouveau groupe d'expertise Communication: Ellen Van Roey, Inge van Aert, Cindy Verachtert, Roel Dillen, Jan Ruts, Anne Verledens, Dirk Wouters

Output scientifique

Graphiques 2010 et 2011

Le partage et la diffusion des connaissances scientifiques constituent l'une des tâches principales du SCK•CEN. C'est la raison pour laquelle les chercheurs présentent leur travail lors de nombreuses conférences internationales. Toutes sortes de publications paraissent également dans des revues et autres médias.



	2010	2011
■ Livres	12	7
■ Articles en phase de rédaction	68	46
■ Périodiques	143	148
■ Présentations	418	440



2011 en quelques mots

JANVIER

Le SCK•CEN et l'Institut von Karman ont signé un accord de collaboration dans le cadre du projet MYRRHA

Le 10 janvier, en présence du premier ministre, Yves Leterme, de la ministre fédérale de la Politique scientifique et ministre de tutelle de l'Institut von Karman, Sabine Laruelle, et du ministre fédéral du Climat et de l'Energie et ministre de tutelle du SCK•CEN, Paul Magnette, l'Institut von Karman (VKI) et le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK•CEN) ont signé un Memorandum of Understanding (MoU) pour l'expérimentation de techniques et de composants à utiliser dans le cadre du projet MYRRHA. L'Institut von Karman, un centre de recherche fédéral spécialisé en dynamique des fluides, va mettre sur pied un dispositif expérimental pour simuler et valider les écoulements du fluide caloporteur du réacteur de recherche MYRRHA.

MARS

Présentation de la nouvelle brochure 'Tchernobyl - 25 ans après'

Le 26 avril, il y aura 25 ans qu'a eu lieu l'accident de Tchernobyl. Une brochure éditée par les chercheurs du SCK•CEN et retraçant un quart de siècle consacré à la plus grande catastrophe nucléaire de l'histoire, a été publiée. 'Tchernobyl - 25 ans après' est également disponible en ligne sur www.sckcen.be.

JUIN

Le SCK•CEN partage son expertise dans une nouvelle alliance européenne autour de la recherche radioécologique

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire est l'une des huit institutions de recherche qui intègrent la recherche radioécologique dans le cadre de l'Alliance européenne en radioécologie, récemment fondée. Les partenaires détermineront les priorités et besoins de recherche communs pour les 15 prochaines années. Ils mettront sur pied diverses actions au niveau européen afin d'utiliser au mieux les moyens de recherche, d'organiser des formations en radioécologie et d'assurer le maintien des connaissances.



OCTOBRE

Le SCK•CEN et l'AFCN présentent de nouveaux concepts quant aux effets sur la santé des irradiations prénatales et postnatales précoces

Certains traitements requièrent une irradiation prénatale ou postnatale précoce qui, dans certains cas, n'est pas sans conséquences. Il peut s'agir de mortalité, de ralentissement de la croissance ou de malformations congénitales, de retard mental, de leucémie ou de cancer. Les premières années d'un enfant sont elles aussi une période de grande sensibilité aux radiations. Ceci ressort clairement de l'apparition accrue de cancers de la thyroïde sur de personnes ayant été exposées, dès leur plus jeune âge, à une dose élevée d'iode radioactif, suite à l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Il est donc capital que de tels risques soient examinés de manière approfondie. Des recherches dans ce sens ont notamment lieu au Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire. Le 7 octobre 2011, le SCK•CEN et l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN) ont organisé un symposium afin de rendre public les nouvelles visions.

DECEMBRE

Le SCK•CEN accède au plus important marché de silicium dopé

Le SCK•CEN a, au cours de la mission princière en Chine, conclu un important contrat pour l'irradiation du silicium. Un des plus grands acteurs de ce marché, a signé une convention de trois ans avec le SCK•CEN pour le dopage de silicium. Le silicium dopé par irradiation neutronique est un semi-conducteur idéal pour les applications d'électronique de puissance. Il est principalement utilisé dans des éoliennes et installations à énergie solaire. Les véhicules hybrides et locomotives de trains à grande vitesse contiennent eux aussi des composants électroniques essentiels, utilisant du silicium dopé. Le SCK•CEN représente pour l'heure, 20% de la production mondiale et la tendance va indéniablement vers une croissance.



Le SCK•CEN transmet à l'AFCN un rapport sur l'avancement des stress tests

Dans le cadre de l'exécution des stress tests, le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire a transmis en date du 15 décembre 2011, à l'AFCN, un rapport d'avancement sur le sujet. Ce document donne un aperçu détaillé des procédures proposées par le SCK•CEN, procédures qui répondent aux directives européennes et belges. La date à laquelle le SCK•CEN doit rendre son rapport final aux autorités de sûreté nationales est fixée au 30 juin 2012.



L'essentiel des chiffres

Sur le plan financier, les résultats de l'exercice sont en équilibre

Les dépenses totales du SCK•CEN se sont élevées à 108,4 MEUR en 2011, dont 58% de frais de personnel. La hausse des frais de personnel résulte principalement des recrutements dans le cadre de MYRRHA. L'effectif du personnel est resté assez constant jusqu'à la mi-2010, pour ensuite passer de 640 à 690 fin 2011, soit 654 équivalents temps plein. Les moyens de fonctionnement et les amortissements représentent respectivement 3% et 6%.

Le financement de ces frais a été couvert à concurrence de 48% par les autorités fédérales. Les revenus de missions de recherche scientifique ou de prestations de services spécialisés se sont élevés à 42%, par rapport à 49% en 2010. Comparé à l'année précédente, la baisse des revenus propres est due à l'exploitation du réacteur BR2, avec comme d'habitude cinq cycles d'exploitation en 2011, contre six en 2010.

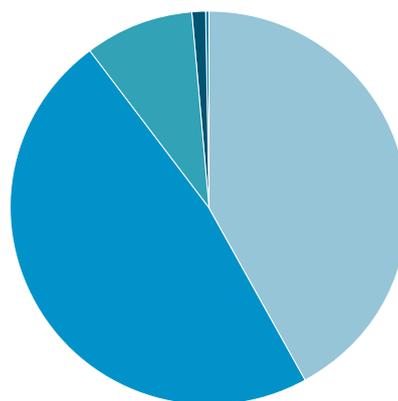
Les ressources ont baissé de 6,3 MEUR suite à la diminution du cash-flow (résultat majoré des amortissements) et à une hausse nette de 8,1 MEUR du capital d'exploitation (actifs et passifs à court terme). Les fonds propres s'élèvent, avec 49,1 MEUR, à 28% du total du bilan.

Comme les années précédentes, la part des investissements reste importante (8,7 MEUR). Les grands dossiers d'investissement que le SCK•CEN souhaite

réaliser sont MYRRHA, la rénovation systématique des bâtiments au cours des 10 prochaines années, la rénovation du réacteur BR2, la sécurisation du site et la séparation physique avec le VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek).

La sûreté a acquis en 2011 une dimension officielle supplémentaire. Les Arrêtés Royaux relatifs à la sécurisation des installations nucléaires ont été approuvés en octobre. Ceci implique, entre autres, que le partage entre le SCK•CEN et le VITO doit être revu dans un délai de 36 à 42 mois, qu'une séparation physique claire doit intervenir entre les deux institutions, avec deux entrées vers les domaines techniques totalement indépendantes.

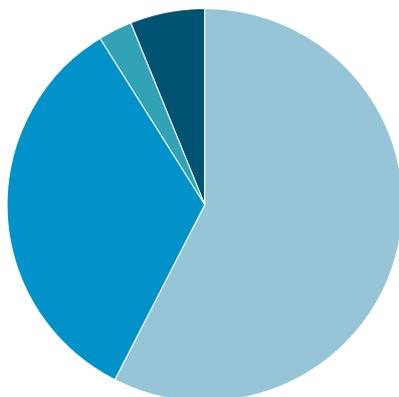
Recettes 2011
(en millier d'EUR)



■ Chiffre d'affaires	45 683
■ Dotation fédérale, subsides en capital	52 137
■ Autres	9 604
■ Produits financiers	1 340
■ Produits exceptionnels	132
Total	108 896



Charges 2011
(en millier d'EUR)



■ Remunérations	62 403
■ Achats, Services	36 550
■ Provisions	3 073
■ Amortissements	6 418
Total	108 444
Transfert aux fonds affectés	0
Résultat	452

Bilans comparés

en millier d'EUR

Actif	31/12/11	31/12/10
Immobilisations incorporelles	3 631	2 562
Immobilisations corporelles	29 333	28 478
Immobilisations financières	6 182	5 860
Stocks, Commandes en cours d'exécution	20 074	18 462
Créances à un an au plus	30 332	24 893
Placements de trésorerie	78 277	84 233
Valeurs disponibles	4 372	4 689
Comptes de régularisation	3 090	1 387
Total	175 291	170 564

Passif	31/12/11	31/12/10
Fonds social	49 100	48 098
Provisions pour risques et charges	91 392	88 319
Dettes à plus d'un an	0	0
Dettes financières	0	0
Dettes commerciales	11 123	11 534
Acomptes reçus	16 692	12 022
Impôts, rémunérations et charges sociales	6 905	8 711
Autres dettes	29	38
Comptes de régularisation	50	1 842
Total	175 291	170 564

Résumé du bilan social 2011

Nombre de travailleurs au 31 décembre 2011

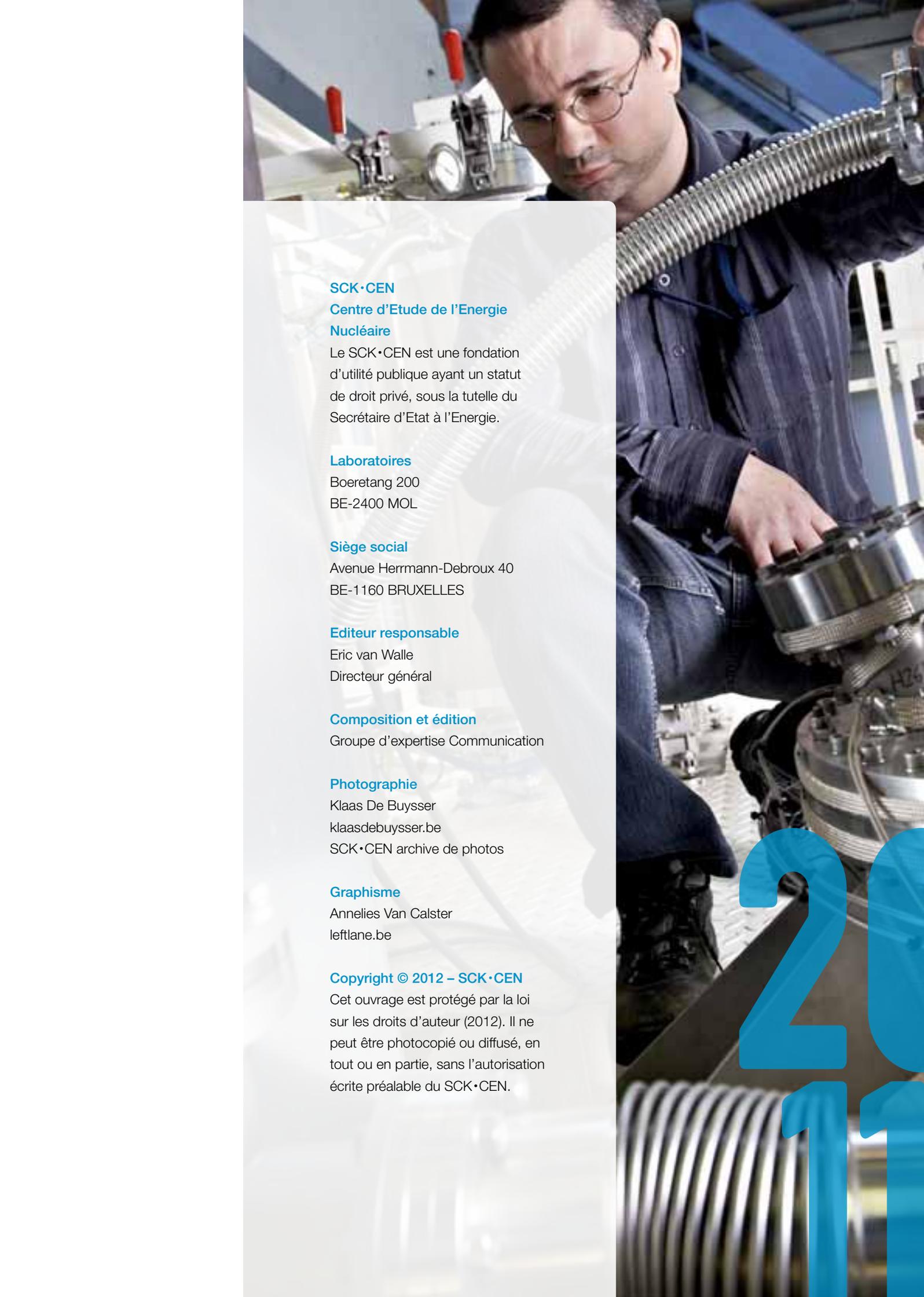
	plein temps	temps partiel
Contrat à durée indéterminée	559	77
Hommes	494	45
Femmes	117	37
Nombre de travailleurs entrés en fonction	99	1
Nombre de travailleurs ayant quitté leur fonction	53	10
Nombre moyen de travailleurs	597	78
Total	611	79

Un dernier mot

En 2011 le Conseil d'Administration du SCK•CEN, assisté du Conseil scientifique et du Comité financier, a accordé une attention toute particulière aux sujets suivants:

- une stratégie et une qualité scientifique
- une gestion financière saine
- la fiabilité des installations
- la sûreté des travailleurs, de la population et de l'environnement
- la protection des installations contre toute offensive extérieure
- une gestion souple et efficace des ressources humaines
- une représentation dans des institutions et forums nationaux et internationaux
- une collaboration avec les universités et centres de recherche nationaux et internationaux
- une prestation de services industrielles mais aussi de services ayant un objectif sociétal, en particulier la production de radio-isotopes médicaux
- une communication objective
- une formation interne et externe
- un appui au processus politique décisionnel
- une Corporate governance
- le projet MYRRHA et autres projets prioritaires

Le Conseil d'Administration se réjouit de savoir que le SCK•CEN est de plus en plus reconnu comme centre de recherche de niveau mondial, au service de la société belge et internationale.



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 Secrétaire d'Etat à l'Energie.

Laboratoires

Boeretang 200
BE-2400 MOL

Siège social

Avenue Herrmann-Debroux 40
BE-1160 BRUXELLES

Editeur responsable

Eric van Walle
Directeur général

Composition et édition

Groupe d'expertise Communication

Photographie

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

Graphisme

Annelies Van Galster
leftlane.be

Copyright © 2012 – SCK•CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2012). Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable du SCK•CEN.

2011

SCK•CEN

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire

60 ans d'expérience en science et technologie nucléaire

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 700 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

Voulez-vous en savoir plus sur le SCK•CEN ?
Consultez le site www.sckcen.be



La marque de la gestion forestière responsable.
L'environnement nous tient à coeur.

