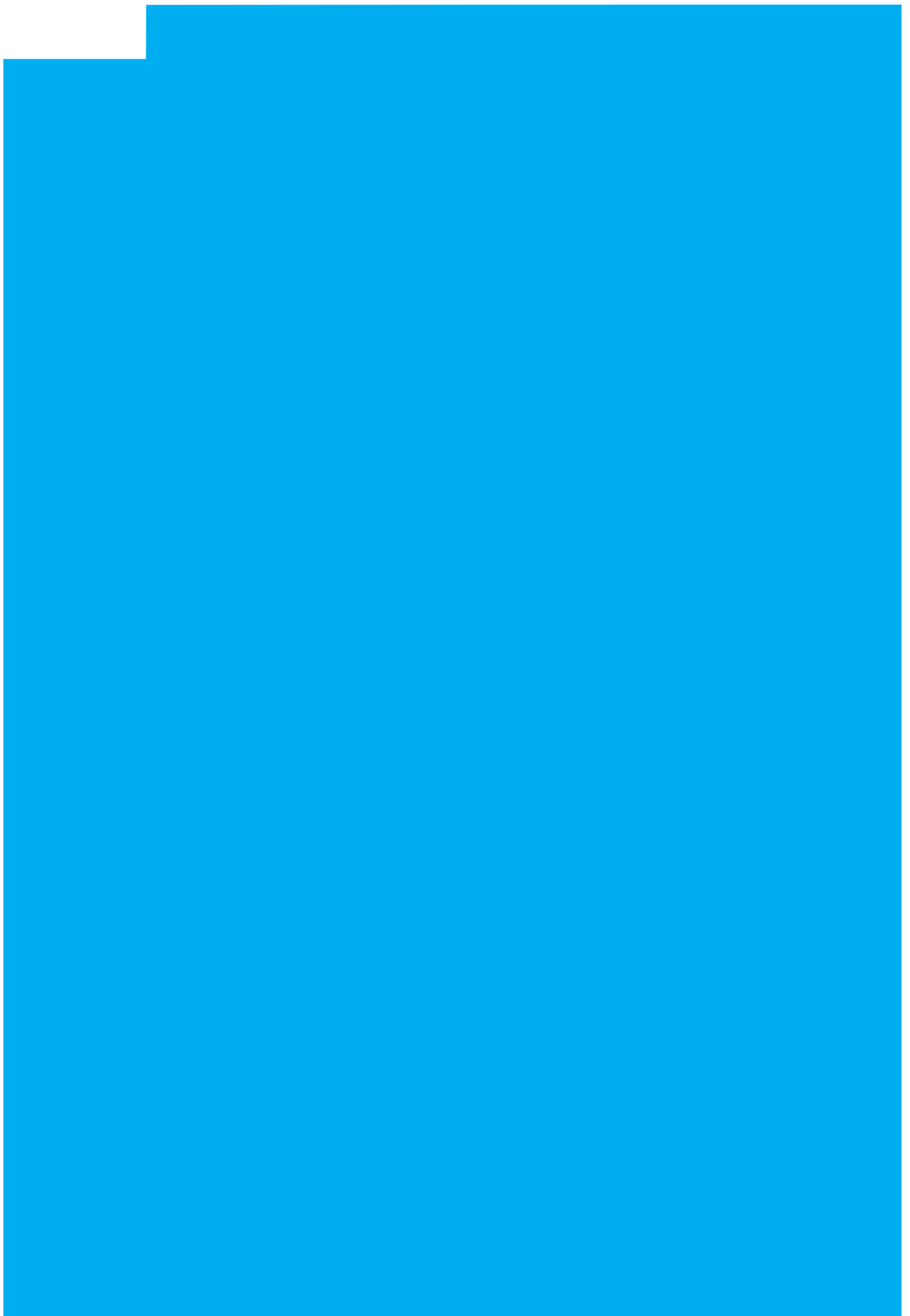




# Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire

## La recherche dans une optique durable

L'essentiel 2010



Notre  
organisation

## Préface

p. 4 MYRRHA, un nouvel départ

## Notre organisation

p. 7 Bien ancré dans la société

p. 8 Quatre instituts, une mission

p. 8 MYRRHA, nouvel élément de la structure organisationnelle

p. 9 Nouveau Conseil Scientifique

Chapitre 1

## Réacteurs de la nouvelle génération en cours de développement

p. 12 Après la reconnaissance belge, une reconnaissance européenne

p. 15 Lancement de la première démonstration ADS

p. 18 MYRRHA, une étape importante vers le premier prototype industriel

p. 20 Les instituts du SCK•CEN conjuguent leur expertise

p. 22 Pas à pas vers un réacteur de fusion nucléaire commercial

p. 24 Le SCK•CEN explore un domaine de recherche encore vierge

Chapitre 2

## L'exploitation sûre et durable des installations: une priorité absolue

p. 28 L'approche préventive du contrôle processuel

p. 31 Une expertise mondialement appréciée utilisée dans les centrales nucléaires belges

p. 32 Demande internationale de programmes de surveillance

p. 35 Le SCK•CEN, pivot de la recherche internationale

p. 37 Le SCK•CEN et le CEA développent ensemble un nouveau type de détecteur gamma

Chapitre 3

## Protéger l'homme et son environnement: notre expertise fait la différence

p. 40 Mesures SCK•CEN: la base du programme de surveillance radiologique pour la Belgique

p. 42 Utilisation des modèles de biosphère du SCK•CEN dans les études internationales

p. 44 ORAMED formule des recommandations pour le secteur médical

p. 46 Une faible dose de rayonnement comporte-t-elle des risques?

p. 48 Baromètre de la connaissance et de la perception du risque

p. 50 Le SCK•CEN fournit un input scientifique pour l'installation de stockage en surface de Dessel

p. 52 Nouveau système d'alerte à la prolifération nucléaire

Chapitre 4

## Partage des connaissances et de l'expertise

p. 56 Des processus industriels plus efficaces

p. 57 SCK•CEN, éminemment présent dans les grands projets européens de collaboration

Aperçu  
général

## Rapport annuel général 2010

p. 60 Service Interne de Prévention et de Protection au Travail

p. 61 La rénovation des bâtiments du SCK•CEN se déroule comme prévu

p. 62 La Gestion des Ressources Humaines, cherche (et trouve) de nouveaux collaborateurs pour le projet MYRRHA

p. 63 Le SCK•CEN encore plus performant, grâce à SAP

p. 63 CRM: la base d'une gestion centralisée des contacts

p. 63 La communication au SCK•CEN: systématique et variée

p. 64 Output scientifique

p. 65 Finances

p. 66 Bilans comparés (en kEUR)

# MYRRHA, un nouveau départ

L'année 2010 a vraiment été une période charnière pour le SCK•CEN. Le fait que le gouvernement fédéral ait donné son aval au projet MYRRHA constitue sans conteste un pas en avant pour la recherche sur les réacteurs nucléaires de nouvelle génération. Il est très réjouissant que l'une des questions essentielles de la recherche nucléaire internationale soit à nouveau confiée au SCK•CEN. Notre mission consiste en effet à chercher activement des réponses à la question de savoir si la science nucléaire peut apporter des solutions durables aux grandes questions d'aujourd'hui et de demain. MYRRHA jouera très certainement un rôle important dans la quête de systèmes nucléaires révolutionnaires qui permettront d'utiliser plus efficacement les combustibles nucléaires tout en produisant moins de déchets (nocifs). Grâce à ce projet, le SCK•CEN peut apporter une contribution personnelle à la lutte contre le réchauffement planétaire et à la sécurisation de nos approvisionnements en énergie.

Il n'est pas surprenant que nous jouissions aussi d'une reconnaissance internationale grâce à ce projet. MYRRHA a été élu comme l'un des projets les plus prometteurs en matière de technologie nucléaire dans l'European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) et s'est vu conférer une place de choix dans la liste des installations de recherche prioritaires de l'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Pour le SCK•CEN et ses collaborateurs, c'est le couronnement des efforts de recherche assidus de ces dernières années. Il s'agit à présent de trouver des réponses aux questions R&D en

suspens, de parfaire les détails d'ingénierie et de chercher les financements supplémentaires nécessaires. Autant de défis auxquels nous nous attèlerons avec le même engagement indéfectible, au cours des prochaines années.

D'un point de vue économique, MYRRHA offre beaucoup d'opportunités: le projet renforce notre économie du savoir et crée de nombreux emplois pour des personnes hautement qualifiées. Grâce à MYRRHA, le SCK•CEN a pu créer 38 nouveaux emplois en 2010. En 2011, nous ambitionnons encore de recruter 12 nouveaux collaborateurs. L'équipe MYRRHA formera une entité nouvelle au sein du SCK•CEN, mais pas isolée du reste de l'organisation. Au contraire: MYRRHA requiert du travail d'équipe au plus haut niveau: experts en conception, spécialistes en matériaux, experts en combustibles nucléaires, ingénieurs systèmes, etc., œuvrent ensemble à la résolution de problèmes techniques. Plus que jamais, les différents instituts du SCK•CEN interagissent.

Les réacteurs sûrs, exploités de manière rentable et durable, constituent le point de départ de la recherche sur les matériaux et les combustibles nucléaires au SCK•CEN. Entretemps, le réacteur de recherche BR2 a presque 50 ans. Un seuil critique, mais cela ne signifie nullement qu'il est dépassé. Ces dernières années, beaucoup d'efforts ont été fournis afin de garantir un fonctionnement sûr et performant du BR2. Ainsi, le BR2 demeurera un réacteur de haute technologie dans l'air du temps, jusqu'à ce qu'il passe le flambeau à MYRRHA. Les fonctions de

production importantes du réacteur – la production de radio-isotopes médicaux et de silicium dopé – sont également assurées.

Un domaine de recherche qui ne cesse de gagner en importance dans le monde entier et dans lequel le SCK•CEN s'investit aussi pleinement, est celui de la radioprotection dans de nombreux domaines. Le rayonnement ionisant constitue une préoccupation sociale journalière, comme le démontrent toutes nos études sur la radioécologie et la radiobiologie. Nous sommes aussi au fait des implications sociales et éthiques des technologies nucléaires. Grâce à l'attention que nous portons au développement durable, à la perception du risque, à la non-prolifération et à l'éthique intergénérationnelle, nous voulons réfléchir de manière critique à la stimulation de la technologie nucléaire. Il ne faut pas non plus négliger les efforts que nous avons fournis sur le plan de la formation et de la communication. Le SCK•CEN ne se contente pas de participer à de nombreux projets de formation européens et internationaux, il en est souvent aussi l'initiateur.

La connaissance que nous développons au sein du SCK•CEN est unique. Afin que la recherche scientifique d'aujourd'hui soit aussi rentable demain, nous investissons pleinement dans la gestion de la connaissance et la gestion de documents. MYRRHA est à cet égard, un projet pilote important.

Les sciences nucléaires ont beaucoup à offrir à la société: nous le prouvons tous les jours au SCK•CEN. Nos recherches revêtent un grand

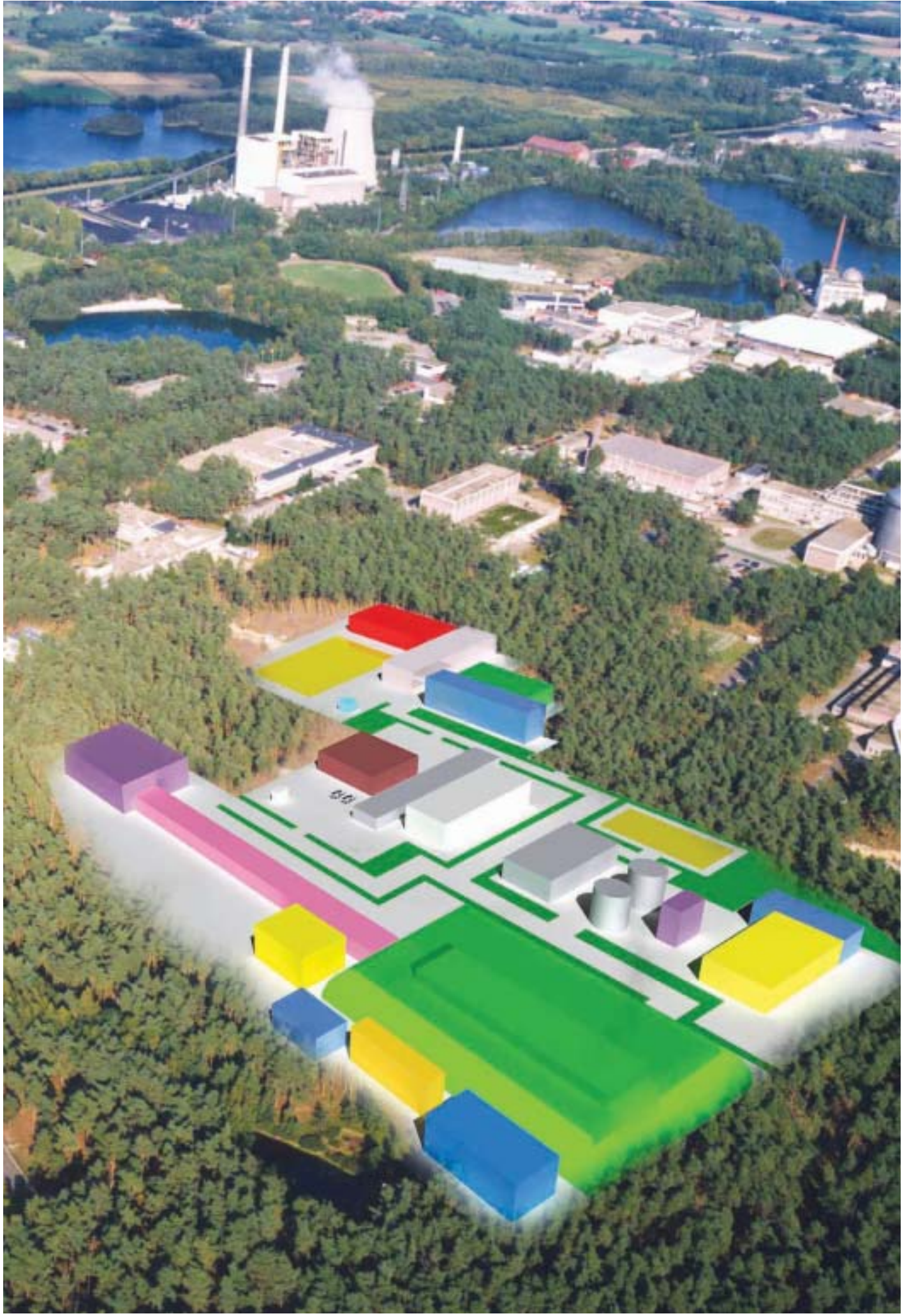
nombre de formes différentes. Qu'il s'agisse d'un projet colossal comme MYRRHA, d'un programme de surveillance nucléaire de renommée mondiale ou de recherches de pointe sur les combustibles faiblement enrichis, ou encore d'un programme de surveillance radiologique continue dans toute la Belgique ou d'une étude suivant de près la dose de rayonnement absorbée par les nouveau-nés: la recherche dans une optique durable est garantie au SCK•CEN. J'aimerais d'ores et déjà remercier tous nos collaborateurs pour leur contribution à cette mission.

Je vous souhaite une excellente lecture.



**Eric van Walle**

Directeur général du SCK•CEN



# Notre organisation

## Bien ancré dans la société

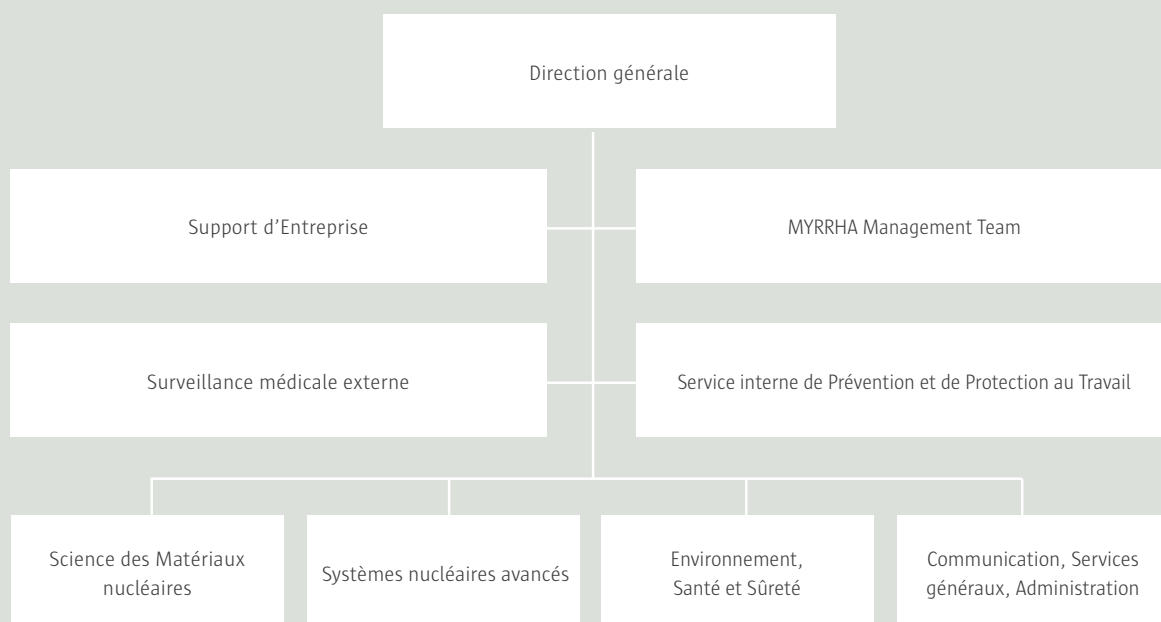
Depuis sa création en 1952 en tant que centre de recherche, le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, SCK•CEN, est un pionnier dans le monde nucléaire. Grâce à ses installations de pointe, à son vaste bagage scientifique et à ses expertises uniques, le SCK•CEN effectue un travail qui élargit le champ de la connaissance dans le domaine de la science nucléaire et de la technologie. Avec des laboratoires à Mol et un siège social à Bruxelles, le SCK•CEN est l'un des principaux centres de recherche en Belgique. Plus de 650 collaborateurs s'attèlent quotidiennement au développement d'applications médicales et industrielles durables du rayonnement ionisant.

Les experts du SCK•CEN font de la recherche fondamentale et appliquée et axent tout leur travail sur les développements et innovations technologiques. Les thèmes nucléaires importants pour la société d'aujourd'hui et de demain en sont les éléments-clés.



Ainsi, le SCK•CEN collabore à la sûreté et à l'efficacité des réacteurs nucléaires belges, une expertise qu'il exporte également à l'étranger. Dans sa quête de nouvelles technologies énergétiques à faible empreinte carbone susceptibles de faire la différence en ces temps de changement climatique, le SCK•CEN est un précurseur. En même temps, les experts du SCK•CEN recherchent des solutions nouvelles et durables pour stocker les déchets radioactifs et démanteler les installations nucléaires. En outre, le SCK•CEN veille aussi à protéger l'homme et l'environnement contre les rayonnements ionisants.

La recherche et les développements technologiques du SCK•CEN sont également importants d'un point de vue international. Le centre de recherche est un partenaire actif au sein d'un réseau mondial d'instituts de recherche et est reconnu comme un institut du savoir progressiste et un centre de formation de qualité sur le plan international.



## Quatre instituts, une mission

### Le SCK•CEN compte trois instituts scientifiques:

- L'Institut Sciences des Matériaux nucléaires étudie les matériaux structurels et les combustibles faisant partie de systèmes nucléaires actuels et futurs.
- L'Institut Systèmes nucléaires avancés développe des connaissances technologiques et économiques sur des réacteurs nucléaires novateurs et soutient ainsi l'industrie nucléaire et les pouvoirs publics au niveau national et international.
- L'Institut Environnement, Santé et Sécurité contribue à assurer la sécurité de l'homme et la protection de l'environnement dans le cadre de l'usage utile de la radioactivité et de toutes sortes d'applications des radiations ionisantes.
- Les instituts scientifiques bénéficient du soutien de l'Institut Communication, Services généraux et Administration qui coordonne notamment les affaires du personnel, la communication et les activités de formation. Le service Support d'Entreprise chargé de la tarification, de la fixation des prix et du marketing, gère les offres et contrats, prodigue des conseils juridiques, organise la protection des connaissances et coordonne la gestion de la qualité au sein de SCK•CEN. Les quatre instituts du SCK•CEN collaborent à une mission unique: la recherche dans une option durable.

## MYRRHA, nouvel élément de la structure organisationnelle

Avec MYRRHA, le SCK•CEN prend une nouvelle fois sous sa responsabilité une infrastructure de recherche multidisciplinaire et unique au monde. MYRRHA jouera un rôle de premier plan dans la recherche de matériaux à la pointe de la technologie et nécessaires au développement des systèmes énergétiques de demain. L'installation permettra de répondre aux défis du futur. Songeons au traitement des déchets radioactifs, à l'approvisionnement de la médecine en radio-isotopes médicaux et à la production de silicium dopé pour les applications énergétiques renouvelables.

En 2010, a été créé au sein du SCK•CEN le MYRRHA Management Team (MMT), responsable de la gestion journalière et du suivi du projet MYRRHA. La création d'une structure de management séparée était nécessaire pour rationaliser tous les processus et activités concernant MYRRHA. MYRRHA est en effet un projet d'envergure, multidisciplinaire et complexe, auquel collaborent les chercheurs des différents instituts: chimistes, physiciens, techniciens en électromécanique, experts en matériaux, etc.

Le MMT n'est pas un nouvel institut technologique, mais tout comme le Service interne de Prévention et de Protection au Travail et de la

Surveillance médicale externe, c'est un organe de coordination et de soutien au sein de l'organisation.

**Pour tout savoir sur cette étape importante pour le SCK•CEN, consultez le dossier MYRRHA à partir de la p. 12.**

## Nouveau Conseil Scientifique

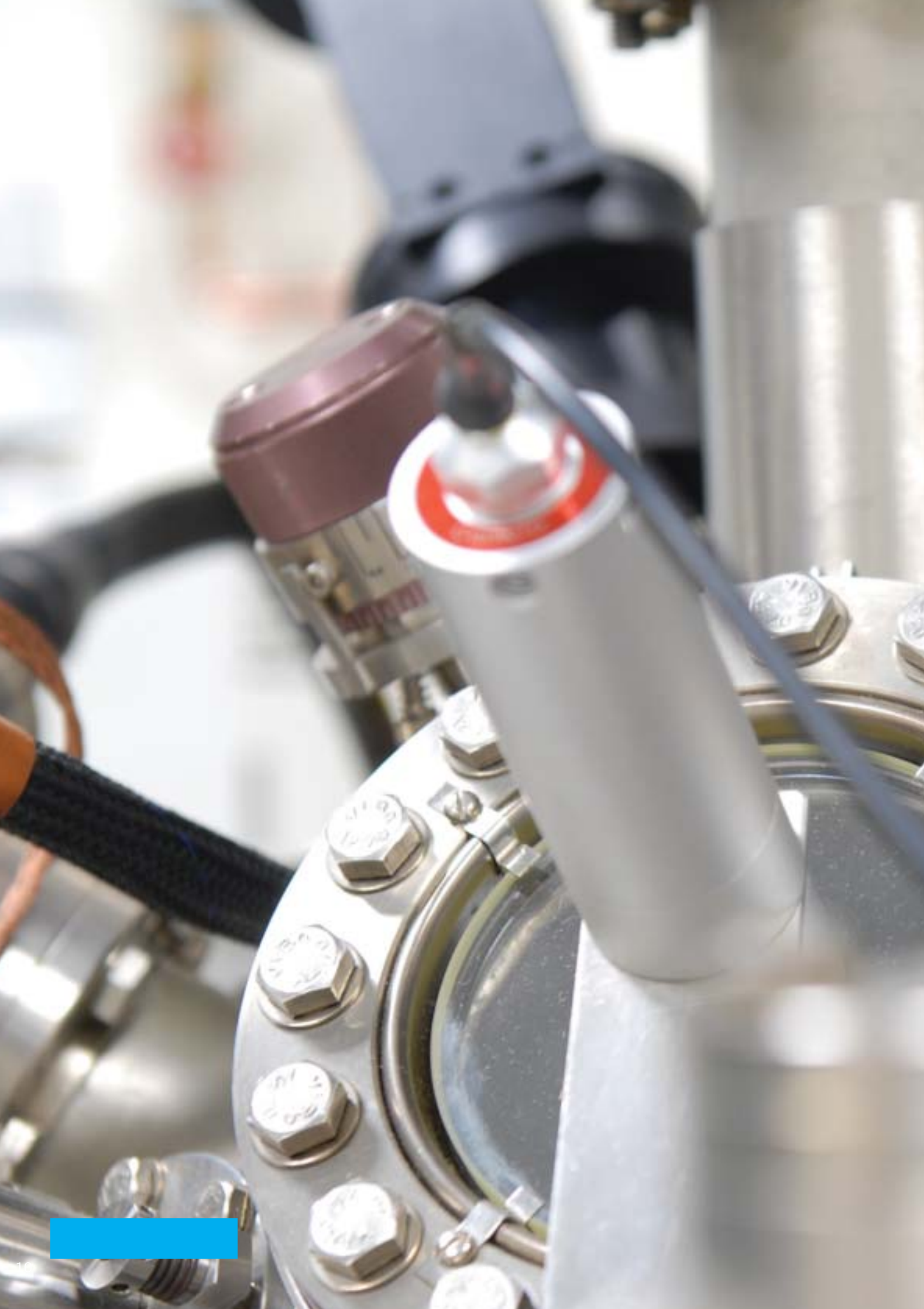
Le Conseil Scientifique (WAC) assiste le Conseil d'Administration et le Management comité du SCK•CEN en lui prodiguant des conseils. La tâche du WAC consiste à fournir des recommandations sur l'importance technico-scientifique et sociale de la recherche et à en contrôler la qualité. Le WAC a également une importante fonction consultative par rapport à l'enseignement et à la formation, la communication, le 'networking' et la valorisation. Le Conseil Scientifique a pour objectif principal de développer, d'évaluer et de rectifier la stratégie à court et à long terme du SCK•CEN.

Fin 2010, la composition du Conseil Scientifique a été revue. Les nouveaux mandats ont pris effet le 1<sup>er</sup> janvier 2011 et courent jusqu'au 31 décembre 2012.

Composition:

Président:	Prof. Em. Michel Giot
Secrétaire scientifique:	Dr. Pierre D'hondt
Membres:	Prof. Em. Dr. Yvan Bruynseraede
	Prof. Em. Dr. Frank Deconinck
	Prof. Em. Ir. Chris Huyskens
	Prof. André Luxen
	Prof. Dr. Alex C. Mueller
	Prof. Dr. Thomas Pardoën
	Prof. Dr. Ir. Guido Van Oost
	Prof. Em. Patrick Van Oostveldt
	Ir. Jean Van Vliet
	Prof. Dr. Eric van Walle





# 1. Réacteurs de la nouvelle génération en cours de développement

Les tout derniers réacteurs nucléaires nous réservent pas mal de choses pour le futur. Ainsi, la technologie nucléaire peut contribuer sensiblement à la lutte contre le réchauffement de la planète. Le SCK•CEN contribue au développement de technologies innovantes qui font des réacteurs nucléaires une option plus durable: fiable, avec moins de déchets radioactifs.

Un démarrage réussi pour MYRRHA

## Après la reconnaissance belge, une reconnaissance européenne

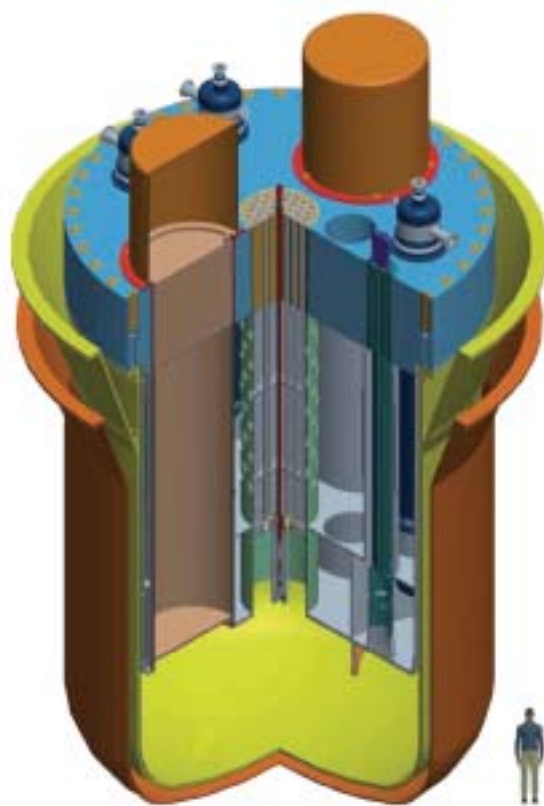
Le gouvernement belge a donné en 2010 son feu vert au projet MYRRHA: il s'agit d'une étape importante pour le SCK•CEN. Au cours des prochaines années, une équipe de recherche tentera d'apporter une réponse aux questions scientifiques et technologiques non élucidées en réalisant la conception de ce réacteur de recherche. L'année dernière, MYRRHA a également bénéficié d'une large reconnaissance sur le plan international. Le projet a été élu parmi les technologies nucléaires les plus prometteuses de l'European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) et s'est vu conférer une place de premier plan sur la liste des installations de recherche prioritaires de l'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI).

MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) est un réacteur de recherche nucléaire de pointe; le premier au monde à être commandé par un accélérateur de particules. Cette technologie innovante, basée sur l'utilisation de neutrons rapides, utilise plus efficacement l'uranium en tant que combustible et réduit la quantité de déchets radiotoxiques. Ce nouveau type de réacteur doit permettre de trouver des solutions à des préoccupations sociales importantes. Ainsi, le projet MYRRHA jouera-t-il un rôle-clé dans la recherche scientifique de réacteurs sous-critiques, et donc plus sûrs. La recherche sur la transmutation sera également possible. Une technologie qui – en théorie – permet de diminuer la quantité et la radiotoxicité des déchets. Cela raccourcira ainsi la durée de dépôt des déchets de quelques centaines de milliers d'années à moins de 1 000 ans.

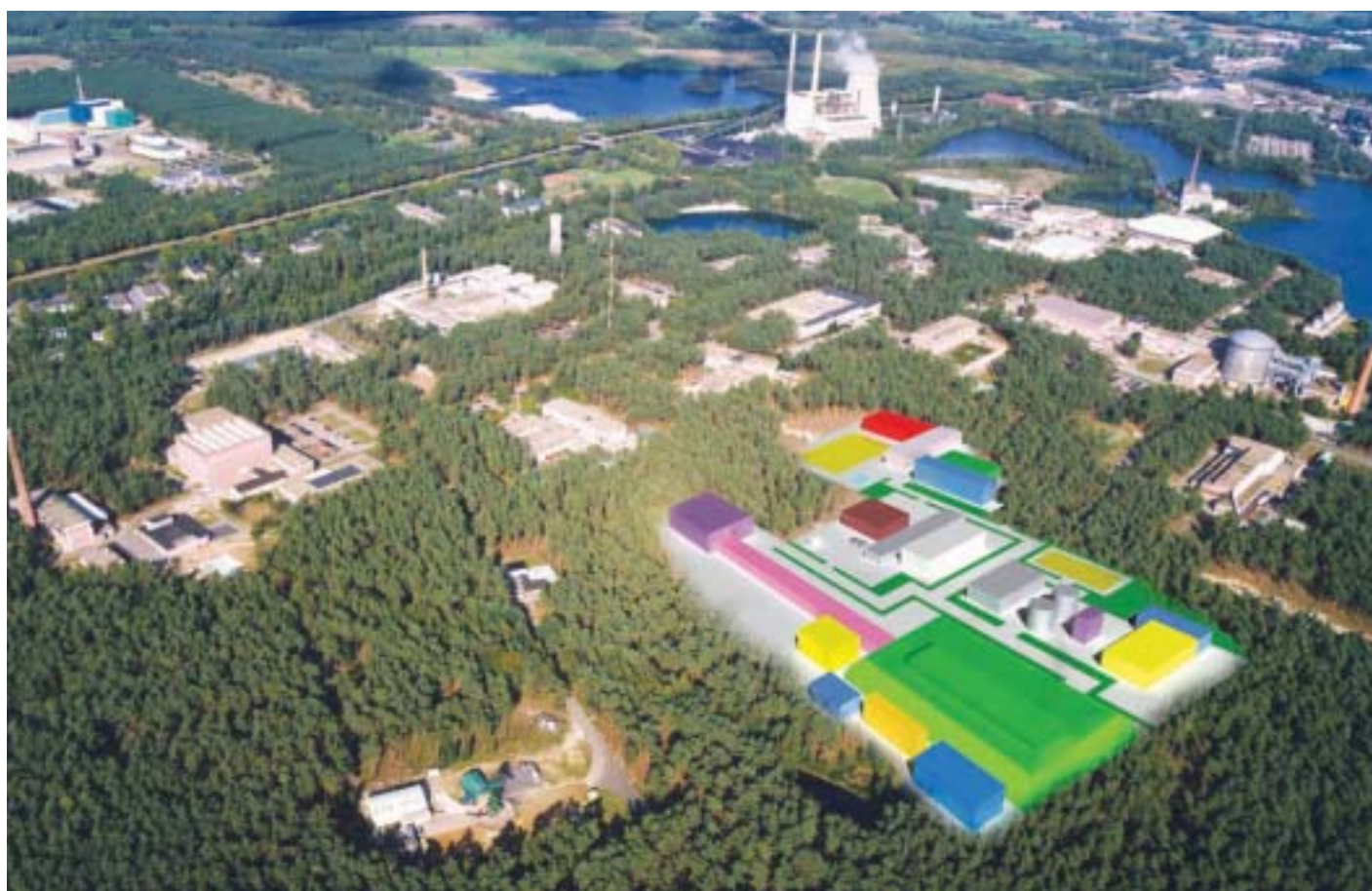
### Recherche et production

MYRRHA a d'abord une fonction de recherche: en tant que réacteur d'irradiation à spectre rapide; il sera utilisé pour tester des combustibles et matériaux innovants. Le réacteur constitue donc un dispositif d'essai important pour les systèmes d'énergie nucléaire du futur: ce que l'on appelle les réacteurs de la quatrième génération.

En outre, l'installation contribuera à l'approvisionnement continu de radio-isotopes médicaux et à la production de silicium dopé: un composant essentiel dans les applications électroniques et dans la technologie énergétique verte. Ces deux fonctions de production sont remplies depuis des années par le BR2, mais ce réacteur sera bientôt remplacé.



↑ MYRRHA a été choisi comme l'un des trois projets les plus prometteurs en matière de technologie nucléaire.



↑ *Implantation future de MYRRHA sur le site technique du SCK•CEN à Mol.*

## Feu vert des pouvoirs publics

L'année dernière, le gouvernement belge a donné son aval pour le lancement de MYRRHA: une belle victoire pour le SCK•CEN. De nombreux experts ont œuvré à la conception du réacteur, au cours des douze dernières années. Mais pour continuer à développer le projet, il fallait des fonds supplémentaires. Le 4 mars 2010, les autorités belges ont fait savoir qu'elles soutenaient le projet et affectaient 60 millions d'euros à la première phase de conception qui durera cinq ans. Pour cette décision, le gouvernement s'est basé sur l'avis d'une équipe internationale de spécialistes indépendants: le MIRT (MYRRHA International Review Team), créé dans le giron de l'Agence de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE.

Le SCK•CEN a reçu pour mission, pour les cinq années à venir, d'élaborer en détail la conception de MYRRHA, d'assurer la mise en œuvre des licences et de mettre sur pied un programme R&D adapté. Le SCK•CEN doit aussi réunir un consortium international et obtenir une deuxième tranche de financement d'environ 40 %. Si ces conditions sont remplies, le gouvernement approuvera la construction de MYRRHA à partir de 2016 et promet de prendre en charge 40 % du coût estimé à 960 millions d'euros. L'objectif est de mettre le réacteur en service en 2023. À partir de ce moment, MYRRHA remplacera totalement le réacteur BR2.

## SET-plan

MYRRHA remporte un franc succès non seulement en Belgique, mais aussi en Europe. Ainsi, la SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform ou Plateforme technologique pour l'Énergie nucléaire durable) a élu MYRRHA parmi les trois technologies nucléaires durables les plus prometteuses de l'ESNII. Cette décision s'inscrit dans le SET-plan (Strategic Energy Technology Plan), un plan stratégique de la Commission Européenne visant à accélérer le développement des technologies énergétiques à faible empreinte carbone. Ces technologies jouent un rôle important dans la lutte contre le réchauffement planétaire et permettent de garantir la sécurité et l'indépendance d'approvisionnement énergétique de l'Europe.

Trois réacteurs à fission nucléaire figurent sur la liste des candidats sélectionnés: MYRRHA (qui fonctionne sur la base d'un alliage de plomb et de bismuth), ASTRID (qui utilise du sodium comme fluide réfrigérant) et ALLEGRO (qui utilise du gaz). MYRRHA fera également office de plateforme de recherche pour ASTRID et ALLEGRO, en ce qui concerne le développement de combustibles nucléaires et de matériaux pour cette nouvelle génération de réacteurs.

## Projet prioritaire

Récemment, l'ESFRI s'est intéressé à MYRRHA. Ce forum européen a approfondi la question de savoir quelles installations de recherche s'avèrent prioritaires, si l'Europe veut rester en tête de la recherche scientifique au cours des dix à vingt prochaines années. Il en résulte une liste de cinquante projets – qui couvrent tant des infrastructures de recherche nouvelles que des installations existantes nécessitant d'importantes mises à niveau. Sur cette liste, MYRRHA occupe une place de premier plan.

Le SCK•CEN se montre également sur la scène européenne avec ISOL@MYRRHA. Il s'agit d'une installation d'irradiation qui utilise l'accélérateur de particules de MYRRHA et avec laquelle les chercheurs du SCK•CEN effectueront de la recherche fondamentale sur les faisceaux ioniques radioactifs, en collaboration avec des universités belges. Le NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee), un comité d'experts de l'European Science Foundation, a inclus ISOL@MYRRHA dans sa feuille de route d'installations de recherche nécessaires pour pouvoir continuer à jouer un rôle de premier plan dans le domaine de la physique nucléaire.

## Intérêt mondial

De nombreux pays ont déjà manifesté de l'intérêt pour MYRRHA. Des pourparlers ont été entamés avec la Chine, la Corée du Sud, le Kazakhstan, l'Allemagne et l'Italie afin de déterminer de quelle manière et à quel niveau ces pays peuvent participer au projet. En octobre 2010, le SCK•CEN et l'Académie Chinoise des Sciences ont signé, en présence des premiers ministres belge et chinois, un accord de coopération concernant la recherche nucléaire à des fins pacifiques. La Chine considère MYRRHA comme une infrastructure de recherche capable d'offrir une solution au traitement de ses déchets radioactifs.

Toujours à l'automne, le Centre nucléaire national du Kazakhstan, Kazatomprom et le SCK•CEN ont signé – en présence du président du Kazakhstan – une lettre d'intention (MoU – Memorandum of Understanding) concernant l'échange d'expertise. Le SCK•CEN envisage encore de nouveaux MoU pour l'année 2011.

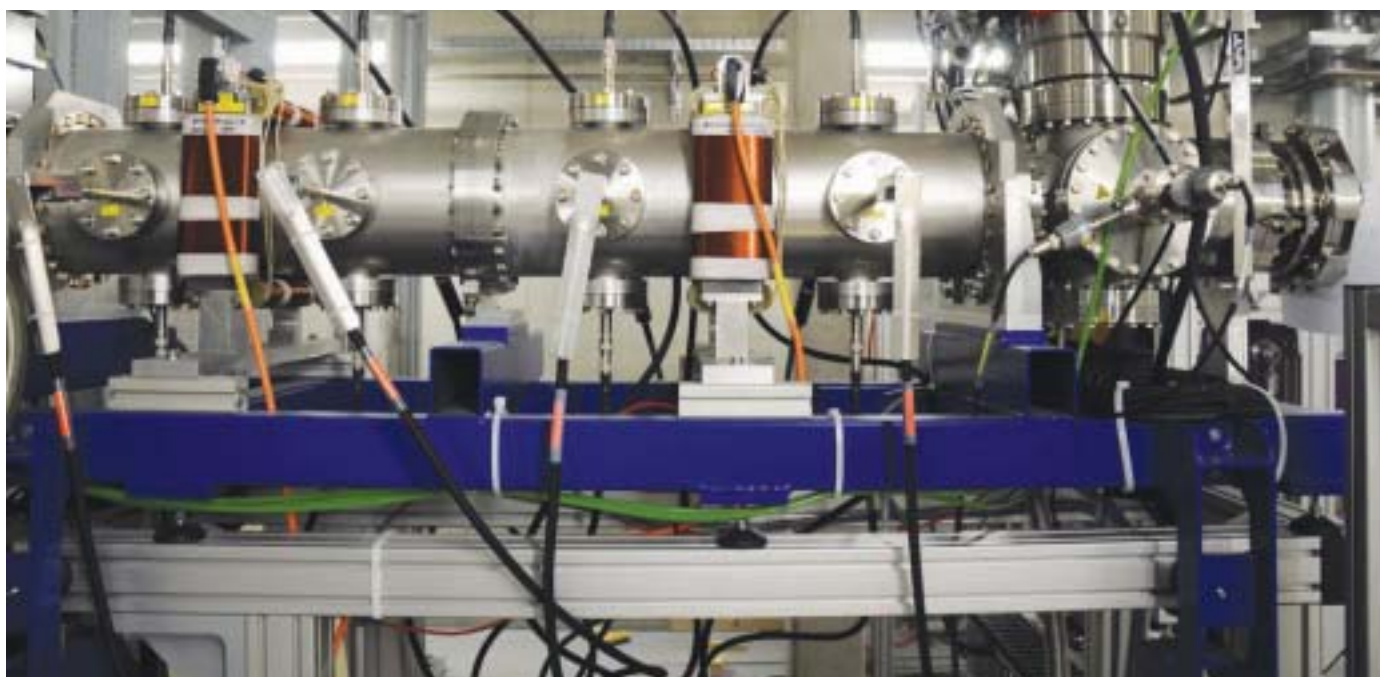
“Le feu vert de notre gouvernement et la reconnaissance internationale de MYRRHA constituent, pour le SCK•CEN et ses collaborateurs, le couronnement d'efforts de recherche assidus, accomplis au cours des dernières années. Les grands défis d'aujourd'hui et de demain consistent à résoudre les questions restantes en matière de recherche et de développement, l'ingénierie de détail et la recherche d'un financement supplémentaire.”

**Hamid Aït Abderrahim**

## GUINEVERE prépare le terrain pour MYRRHA

# Lancement de la première démonstration ADS

Le 4 mars 2010 n'était pas seulement le jour où le gouvernement belge a promis d'apporter officiellement son soutien au projet MYRRHA. C'est aussi à cette date que le réacteur GUINEVERE a été inauguré officiellement. GUINEVERE constitue la première étape expérimentale importante dans la réalisation du projet MYRRHA. Pour la toute première fois, on faisait la démonstration du projet GUINEVERE – une toute nouvelle catégorie de système nucléaire piloté par accélérateur de particules – sur le site technique du SCK•CEN: une première mondiale, en somme.



↑ Avec GUINEVERE, les chercheurs du SCK•CEN veulent valider la méthode de mesure de la sous-criticité.

En tant que réacteur de recherche avancé, MYRRHA introduira des technologies innovantes. Avant de pouvoir réellement implémenter ces innovations dans le réacteur, il faut mener des expériences afin d'en établir la faisabilité. Tel est le but de GUINEVERE (Generator of Uninterrupted Intense NEutrons at the lead VENus REactor), un réacteur d'essai à faible puissance utilisé pour démontrer les nouveautés technologiques de MYRRHA.

### ADS

La spécificité de la technologie MYRRHA réside dans le fait qu'un accélérateur de particules maintient la réaction en chaîne de fission, en tant que source externe de neutrons. On parle également d'un système ADS ou «Accelerator Driven System». L'ADS offre de gros avantages sur le plan de la sûreté: si on débranche l'accélérateur

## Inauguration de GUINEVERE

Le jeudi 4 mars 2010, le SCK•CEN a donné le coup d'envoi officiel de GUINEVERE. Cela s'est passé en présence de Paul Magnette, ministre fédéral du Climat et de l'Énergie et ministre de tutelle du SCK•CEN, et Sabine Laruelle, ministre fédérale des PME, des Indépendants, de l'Agriculture et de la Politique scientifique.

Plus de 150 personnes, dont des chefs d'entreprise, des capitaines d'industrie et des scientifiques de renom, ont assisté à l'inauguration de cette première mondiale belge. Cette inauguration coïncidait avec la décision du gouvernement belge de libérer 384 millions d'euros pour MYRRHA, un montant qui sera réparti sur les dix prochaines années. Avec le lancement de GUINEVERE et après des années de préparation, le SCK•CEN écrit le premier chapitre de l'histoire de MYRRHA. Cette étape sera certainement suivie d'autres temps forts au cours des prochaines années.

*Paul Magnette, ministre de tutelle du SCK•CEN et Sabine Laruelle, ministre de la Politique scientifique étaient présents lors de l'inauguration.* →



de particules, le réacteur nucléaire (sous-critique) s'arrête aussi automatiquement. Un objectif important de MYRRHA est d'établir la faisabilité de la technologie ADS; l'infrastructure GUINEVERE franchit une première étape dans ce sens. L'état de sous-criticité est essentiel pour la sûreté de ce type de réacteur. Avec GUINEVERE, les chercheurs du SCK•CEN veulent valider la méthode de mesure de la sous-criticité, afin de l'appliquer plus tard aussi à MYRRHA.

Dans le réacteur MYRRHA, les chercheurs veulent utiliser l'ADS pour l'étude de la transmutation. C'est la scission d'éléments à longue durée de vie contenus dans des déchets radioactifs en éléments à courte durée de vie. La durée de vie des déchets pourrait ainsi être raccourcie d'un facteur 1000.

## Puissance zéro

La recherche expérimentale sur la technologie du réacteur refroidi au plomb (Lead Fast Reactor ou LFR) qui sera introduite dans MYRRHA, constitue le second volet de la recherche effectuée dans le cadre de GUINEVERE. Afin de réaliser ces expériences, les experts du SCK•CEN ont transformé le réacteur VENUS (Vulcain Experimental Nuclear Study) en un LFR (VENUS-F) à puissance zéro. Grâce à GUINEVERE, la caractérisation du noyau unique (composé de plomb et d'uranium) permet de valider expérimentalement les codes neutroniques appropriés (qui donnent une idée de la répartition neutronique dans le réacteur). Les concepteurs de MYRRHA qui peaufinent le projet utiliseront les résultats de ces expériences afin de réduire les marges de sûreté utilisées auparavant. C'est un progrès important pour l'optimisation du projet MYRRHA.

## Projet international

Dans un projet de technologie de pointe tel que GUINEVERE, le SCK•CEN collabore étroitement avec des partenaires internationaux. Le réacteur VENUS-F a été couplé à un accélérateur (GENEPI-3C), construit par le CNRS français (Centre National de la Recherche

Scientifique) et transporté à Mol en 2009. Le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) joue également un rôle important dans GUINEVERE: ce centre de connaissances met à disposition les combustibles et prend en charge la conception de l'installation.

GUINEVERE est un projet européen développé dans le cadre d'IP-EUROTRANS qui, à son tour, s'inscrit dans le sixième programme-cadre d'Euratom (la Communauté européenne de l'Énergie atomique). IP-EUROTRANS réunit des projets de recherche visant la poursuite du développement de la technologie ADS. Le but de ce programme est la diminution des déchets nucléaires et de leur toxicité. Entretemps, le successeur de GUINEVERE est également connu: on continuera de mettre au point la technologie ADS dans le cadre du septième Projet-Cadre FREYA, qui court encore jusqu'en 2014.

## Du critique au sous-critique

Début 2010, le SCK•CEN se voit accorder par l'AFCN (Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire) l'autorisation de construire et d'exploiter GUINEVERE. Les experts ont testé pendant une année entière la partie non nucléaire du réacteur: le système de ventilation, le système de contrôle, l'accélérateur de particules, etc. En février 2011, le réacteur a été lancé en mode critique. Après une série de tests dans ce mode, le réacteur sera couplé à l'accélérateur, ensuite il passera en mode sous-critique. Cela marque d'emblée le commencement d'un travail sans précédent.

“Grâce aux résultats des expériences menées dans le cadre de GUINEVERE, nous serons en mesure de réduire les marges de sûreté pour MYRRHA. C'est un grand pas en avant pour l'optimisation de la conception de MYRRHA.”

**Peter Baeten**

En février 2011, le réacteur VENUS-F est démarré en mode critique. →



Sur la voie d'un réacteur rapide refroidi au plomb pour l'Europe

## MYRRHA, une étape importante vers le premier prototype industriel

Dans le programme européen visant à accélérer le développement des technologies énergétiques à faible empreinte carbone, la fission nucléaire occupe une place importante. L'Europe mise sur la poursuite du développement de trois types de réacteurs nucléaires parmi lesquels le réacteur rapide refroidi au plomb (Lead Fast Reactor ou LFR). En tant qu'ETPP (European Technology Pilot Plant), MYRRHA est un jalon important du parcours de développement devant aboutir au premier prototype industriel. Les étapes suivantes doivent également être préparées. Tel est le premier objectif visé par le projet LEADER (Lead-cooled European Advanced DEMonstration Reactor) qui a démarré en avril 2010.

Les réacteurs rapides tels que le réacteur rapide refroidi au plomb présentent de nombreux avantages. Tout d'abord, ils permettent de multiplier l'usage utile de l'uranium par un facteur 50, voire 100, et de garantir ainsi la production d'électricité basée sur l'énergie nucléaire pour un lointain futur. Les réacteurs LFR jouent en outre un rôle important lorsqu'il s'agit de diminuer sensiblement la quantité et la durée de vie des déchets radioactifs produits à longue durée de vie.



↑ Le SET-plan est un plan stratégique de la Commission européenne visant à accélérer le développement des technologies énergétiques à faible empreinte carbone.

### ALFRED

Dans le cadre du septième programme-cadre, le SCK•CEN œuvre au projet LEADER dans un consortium avec des partenaires européens, coordonné par le groupe industriel italien Ansaldo. Ce projet vise dans un premier temps le développement d'une unité de démonstration du LFR. Avec une puissance électrique de 100 MW, ALFRED sera relié au réseau électrique. Le réacteur qui devrait être construit entre 2020 et 2025, bénéficie d'un soutien considérable de la part des partenaires industriels, dont Ansaldo (Italie) et Empresarios Agrupados (Espagne). Avec LEADER, on s'occupe également de la conception d'un prototype (d'une puissance électrique de 600 MW) pour le réacteur LFR commercial du futur.

LEADER s'inscrit dans la continuité du sixième projet-cadre ELSY et est étroitement lié à d'autres projets de recherche européens dans le domaine de la technologie des matériaux, des systèmes ADS et des réacteurs rapides.

### Le plomb comme liquide réfrigérant

Le réacteur rapide refroidi au plomb, utilisé à l'origine exclusivement dans les sous-marins militaires russes, présente une série d'avantages flagrants qui font de lui un candidat idéal pour un approvisionnement en énergie nucléaire durable. Tout comme d'autres réacteurs refroidis par métal liquide, le réacteur refroidi au plomb ne doit pas être maintenu sous pression. Un procédé beaucoup plus sûr car il permet une densité de puissance plus élevée et donc un rendement supérieur ainsi qu'une quantité moindre de déchets. En outre, comparativement à d'autres métaux liquides comme le sodium, le plomb ne provoque pas d'importantes réactions chimiques au contact de l'eau ou de l'air: un autre avantage considérable.

“Dans un vaste consortium avec les partenaires européens, le SCK•CEN collabore à la démonstration du concept du réacteur rapide refroidi au plomb. L'étape suivante consiste en un démonstrateur opérationnel qui doit apporter la preuve de la durabilité de la technologie.”

**Didier De Bruyn**  
**Peter Baeten**

Le point d'ébullition élevé (1 755 °C) du réacteur au plomb lui assure un rendement thermique très élevé et permet des applications spécifiques à haute température, telles que la production directe d'hydrogène. Le point de fusion élevé (320 °C) crée cependant des conditions extrêmes à l'intérieur du réacteur. Le développement de matériaux de réacteur susceptibles de rester performants dans ces conditions de températures n'est pas évident et nécessite donc du temps.

## Du plomb-bismuth au plomb

Le point de fusion du plomb peut être abaissé par un alliage avec du bismuth. Dans ce cas, les exigences sont moins strictes au niveau de la technologie des matériaux. C'est pourquoi dans le parcours de développement du réacteur refroidi au plomb, on recourt au procédé de refroidissement par cet alliage, plus facile à utiliser, durant l'«étape intermédiaire» MYRRHA.

L'alliage plomb-bismuth n'est toutefois pas la technologie finale: le bismuth est coûteux et pas disponible en suffisance pour pouvoir équiper une kyrielle de réacteurs commerciaux. Avant de pouvoir construire un prototype LFR, il faut donc encore franchir l'étape du plomb-bismuth au plomb. Tel est le grand défi du réacteur de démonstration ALFRED dans le cadre du projet LEADER.

## ALFRED et MYRRHA

ALFRED vise un autre objectif important, en tant que réacteur de démonstration. Il doit en effet démontrer que les matériaux structurels innovants et les nouveaux combustibles peuvent supporter des flux neutroniques élevés et de hautes températures. Entretemps,



↑ Le passage du plomb-bismuth au plomb est le grand défi d'ALFRED.

une étude de pointe sur les revêtements et matériaux innovants sera effectuée dans le cadre de MYRRHA. Les résultats de cette étude devraient permettre de travailler avec du plomb à un stade plus avancé. Le projet MYRRHA fournit donc un input scientifique indispensable pour la poursuite du développement et la démonstration de la technologie LFR.

## Qualification des matériaux pour MYRRHA

# Les instituts du SCK•CEN conjuguent leur expertise

Un programme R&D d'envergure a été associé au projet MYRRHA. Ce programme a pour but d'approfondir, entre 2010 et 2014, l'étude des défis technologiques liés à la conception du réacteur. La qualification des matériaux est un défi de taille. Les experts en matériaux du SCK•CEN essaient de savoir comment les matériaux utilisés dans le cadre de MYRRHA réagiront sous des conditions difficiles, propres au réacteur.

Le bon choix des matériaux pour les différents composants du réacteur constitue, avec le projet fonctionnel, l'étape finale de l'exploitation sans risque de toute installation nucléaire. Dans le réacteur MYRRHA, les matériaux utilisés seront soumis à des conditions extrêmes. Non seulement l'effet d'une irradiation continue, mais aussi des températures élevées pouvant grimper jusqu'à 500 °C, soumettent les matériaux à rude épreuve. La spécificité de MYRRHA réside dans l'environnement chimique, particulièrement agressif, du circuit de refroidissement. Une première dans ce type d'application pacifique. Le fluide frigorigène du réacteur se compose en effet d'un alliage de plomb et de bismuth, un métal liquide très corrosif. La performance des matériaux et des composants de ce circuit, tels que les échangeurs de chaleur et les pompes, n'a pas encore été suffisamment démontrée dans ce milieu.



↑ Préparation des capsules sous pression pour l'irradiation dans le réacteur BOR-60.

### Sélection des matériaux

Plutôt que de développer et d'optimiser des matériaux innovants, les concepteurs de MYRRHA ont opté pour des matériaux industriellement disponibles. Ces matériaux ont déjà été testés et sélectionnés pour d'autres applications nucléaires mais n'ont pas encore prouvé leur performance dans les conditions extrêmes de MYRRHA.

À l'aide notamment d'expériences mécaniques et de tests d'irradiation, le SCK•CEN étudie le comportement des matériaux candidats dans des conditions MYRRHA. Les spécialistes du SCK•CEN utiliseront ce programme expérimental pour étayer le choix définitif des matériaux du réacteur.

### Phénomènes critiques

Concrètement, plusieurs phénomènes critiques tels que la corrosion par le métal liquide, la fragilisation sous métal liquide (induite par l'irradiation et l'environnement métallique), la fatigue du métal, le fluage, la dilatation (causée par l'irradiation), etc., seront passés au crible. Le premier volet du programme expérimental comprend des tests mécaniques dans l'environnement plomb-bismuth, pour lesquels le SCK•CEN a développé une infrastructure d'essai. Les premières expériences menées en laboratoire montrent déjà qu'au moins un matériau candidat se fragilise dans les marges de sûreté. Cela signifie, en d'autres termes, qu'il demeure suffisamment résistant.

Le deuxième volet du programme d'essai consiste en une série d'expériences d'irradiation. Une première expérience a été entamée en 2010 dans BOR-60, un réacteur rapide expérimental refroidi au sodium, au Research Institute of Atomic Reactors (RIAR – Institut de Recherche des Réacteurs Atomiques, Russie). Le but de cette expérience est d'étudier l'effet de l'irradiation avec des neutrons

“Le caractère unique de l'équipe de conception de MYRRHA réside dans l'interaction entre les concepteurs, les spécialistes en matériaux, les experts en combustibles et les ingénieurs système. Cet échange de connaissances spécialisées doit aboutir à un projet astucieux et infaillible au moment de la construction effective de MYRRHA.”

**Gunter Coen**  
**Marlies Lambrecht**  
**Serguei Gavrilov**

rapides sur les matériaux candidats. Les résultats seront comparés à ceux de matériaux exposés aux mêmes températures mais sans irradiation. On peut ainsi opérer une distinction entre les effets découlant de l'irradiation et les effets provoqués par le métal liquide environnant.

## Interaction

Le caractère unique du programme de recherche relatif à MYRRHA réside dans le fait que les experts de la conception, les spécialistes en matériaux, les experts en combustibles et les ingénieurs système collaborent. Cela provoque une interaction continue entre l'étude des matériaux et la conception. Les experts en matériaux transmettent leurs constatations aux concepteurs qui peuvent ainsi optimiser davantage le projet de réacteur et le valider. Inversement, le concepteur impose certaines conditions (par exemple, un intervalle de température précis combiné à une certaine dose de neutrons) que les spécialistes en matériaux examinent de plus près. Cette qualification approfondie des matériaux sert avant tout à améliorer le projet MYRRHA, mais créera aussi un input scientifique important pour tous les réacteurs de la quatrième génération.



↑ Pièces pour essai de traction sur un matériau pressenti pour MYRRHA afin de déterminer ses propriétés mécaniques.

Le SCK•CEN développe des éléments essentiels d'IFMIF

## Pas à pas vers un réacteur à fusion nucléaire commercial

Depuis plusieurs décennies, les scientifiques d'Europe, des États-Unis et du Japon font de la recherche technologique sur la fusion nucléaire, probablement la source d'énergie par excellence du futur. Le SCK•CEN apporte son concours dans ce domaine de recherche. Ainsi, le Centre de Mol est en charge de la conception et de la validation de certains composants critiques de l'installation d'irradiation IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility). Cet appareil sera utilisé à partir de 2025 pour tester des matériaux dans des conditions extrêmes, semblables à celles d'un réacteur à fusion nucléaire.

La fusion nucléaire en tant que source d'énergie n'est pas encore pour demain. Les défis scientifiques d'aujourd'hui sont encore trop importants. Afin de disposer toutefois de cette technologie énergétique d'ici la deuxième moitié de ce siècle, on construit actuellement un réacteur expérimental à Cadarache (sud de la France): ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) – la dernière étape avant le modèle de démonstration industriel DEMO.

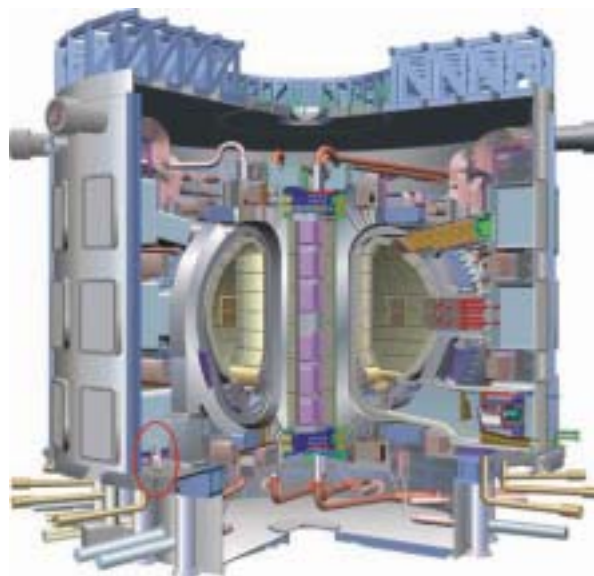
### Approche élargie

Par ailleurs, le Japon et l'Union européenne ont décidé conjointement de mettre sur pied une «broader approach» ou «approche élargie» sur la fusion nucléaire. Le but de cette dernière est de développer des technologies et d'effectuer de la recherche impossible à réaliser dans ITER. La Belgique, avec le SCK•CEN en tant que coordinateur, s'est engagée au printemps 2009 à participer aux trois principaux projets de l'approche élargie: IFMIF, IFERC (International Fusion Energy Research Centre) et le STP (Satellite Tokamak Programme). D'autres centres de recherche, universités et entreprises belges participent à ce programme de R&D international à la pointe de la technologie.

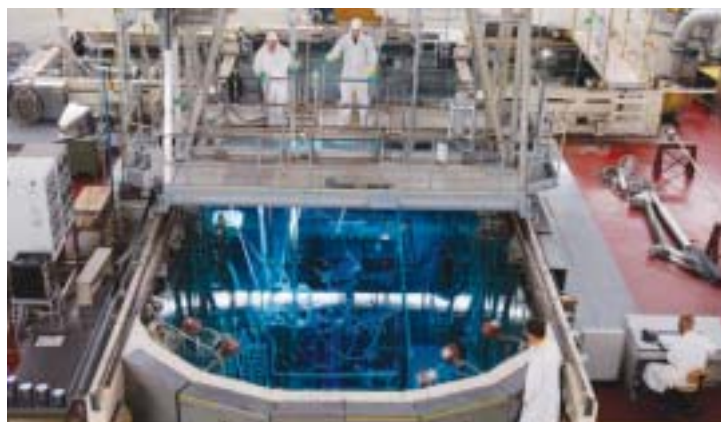
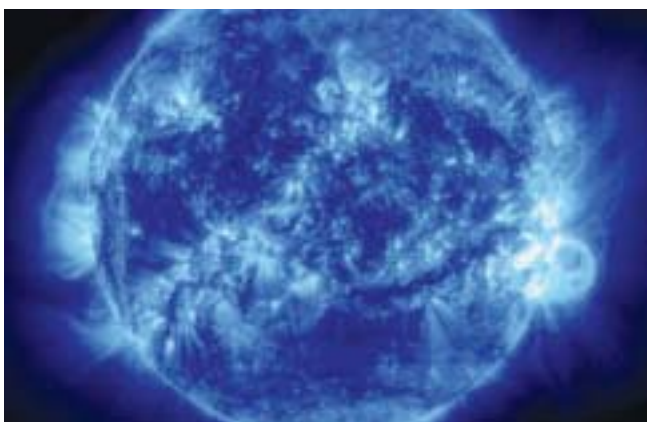
### L'énergie neutronique multipliée par sept

L'étude des matériaux à l'aide de l'installation d'irradiation IFMIF est essentielle pour la fusion nucléaire. Les conditions créées par le processus de fusion nucléaire sont encore bien plus extrêmes pour les matériaux que dans le cas de la fission nucléaire. Par exemple, les neutrons sont sept fois plus énergétiques que ceux produits

par la fission et le flux neutronique est dix fois plus important. Le SCK•CEN est étroitement associé à la conception et à la validation de composants essentiels pour IFMIF. Cette installation produit des neutrons hautement énergétiques à haute intensité. Une intensité nécessaire pour tester et qualifier des matériaux innovants dans des conditions semblables à celles d'un réacteur à fusion nucléaire. IFMIF doit être fin prêt d'ici 2025, au moment où ITER deviendra



↑ ITER est un réacteur à fusion expérimental construit en France. (source: ITER)



↑ *Au-dessus à gauche: Pour le développement des réacteurs à fusion, on tente de reproduire sur terre les réactions ayant lieu dans le soleil. (source: SOHO)  
 Au-dessus à droite: Le BR2 joue un rôle important dans la qualification des composants et matériaux pour les réacteurs à fusion.  
 En dessous à gauche: Partie de l'accélérateur de particules d'IFMIF. (source: CEA)  
 En dessous à droite: Vue intérieure du plus grand réacteur à fusion actuel. (source: EFDA JET)*

opérationnel. IFMIF fournira surtout des informations cruciales pour la construction de réacteurs à fusion commerciaux après ITER.

## De la conception à l'expérimentation

Les systèmes et éléments critiques d'IFMIF sont conçus et fabriqués à différents endroits en Europe et au Japon, sous la coordination de l'équipe de projet internationale de Rokkasho (Japon). Le SCK•CEN est en charge des tests d'irradiation sur les éléments sensibles d'IFMIF, ainsi que de la conception du module test qui sera utilisé lors du démarrage de l'installation et de la conception du «low flux test module»; le module qui offre le plus gros volume d'irradiation, mais aussi la plus faible dose par an. Tous ces éléments sont essentiels pour tester le fonctionnement d'IFMIF.

En 2009, les experts du SCK•CEN ont conçu le dispositif d'irradiation et préparé le concept de base du module test de démarrage et du low flux test module. En octobre 2010, le SCK•CEN a signé un contrat important avec IBA (Ion Beam Applications, Louvain-la-Neuve). IBA conçoit et fournit des amplificateurs de puissance en radiofréquences pour l'alimentation de l'accélérateur de particules extrêmement puissant pour l'installation IFMIF.

## Démarrage des tests d'irradiation

Tout est désormais prêt pour le lancement des tests d'irradiation. Durant le deuxième semestre 2011, trois capsules HFTM-V

(high flux test modules) d'IFMIF seront irradiées, chacune à une température différente. Le KIT (Karlsruhe Institute of Technology) est chargé de la construction des capsules qui seront livrées au SCK•CEN durant l'été 2011. Les tests d'irradiation permettront de contrôler la résistance des capsules à la fatigue thermique et leur comportement sous un flux neutronique élevé.

Les tests d'irradiation se poursuivront jusque fin 2012, et toute la phase d'ingénierie d'IFMIF devrait être terminée à la mi-2013. À ce moment, il sera temps de prendre les décisions qui s'imposent pour la construction de l'installation.

“Nous collaborons au design et à la validation des systèmes et éléments critiques d'IFMIF. Cette installation d'irradiation high-tech, qui fait partie de l'«approche élargie», fournira des données indispensables pour la construction de réacteurs à fusion commerciaux après ITER.”

Vincent Massaut  
 Patrice Jacquet

---

L'interaction plasma-paroi nouveau centre d'intérêt de la recherche

## Le SCK•CEN explore un domaine de recherche encore vierge

À partir de 2011, le Plasmatron occupera une place de choix dans la recherche sur la fusion nucléaire menée par le SCK•CEN. Grâce à cette installation d'essai, une équipe de chercheurs étudiera les interactions entre le plasma de fusion brûlant et la paroi faisant face. Ces expériences, pour lesquelles on a spécialement transformé le Plasmatron, fourniront un output scientifique considérable pour la technologie des matériaux d'ITER et DEMO.

La fusion nucléaire exige des températures extrêmement élevées: le combustible de fusion doit être chauffé à des centaines de millions de degrés Celsius. Le gaz brûlant et ionisé (plasma) est confiné à l'intérieur de l'installation dans un champ magnétique circulaire puissant, afin de ne pas entrer directement en contact avec la paroi du réacteur à fusion ou tokamak. Toutes sortes d'instabilités influent sur le bon confinement du plasma dans le réacteur. Les scientifiques analysent l'interaction plasma-paroi pour étudier comment le matériel de la cuve du réacteur et le plasma interagissent. L'interaction plasma-paroi est un domaine de recherche complexe relativement récent, au croisement de la physique des plasmas, de la science des matériaux, de la chimie, de la physique et de la physique nucléaire.

### Effets combinés

La paroi du réacteur est exposée à plusieurs effets durant le processus de fusion. Le matériau est bombardé par des neutrons et des ions (deutérium, tritium) provenant de la réaction de fusion, des particules rapides provenant du plasma. En outre, la paroi du réacteur est sujette à un flux thermique et à des chocs thermiques provoqués par le processus de fusion nucléaire proprement dit et par des turbulences dans le plasma. Jusqu'à ce jour, peu de recherches ont été effectuées sur les effets combinés de ces impacts.

Depuis 2010, le SCK•CEN travaille dans ce domaine de recherche en collaboration avec l'institut néerlandais FOM (Fundamenteel Onderzoek naar Materie) et le Centre de recherche de Jülich (FZJ) à travers le Trilateral Euregio Cluster (TEC). La recherche sur l'interaction plasma-paroi étant très spécialisée, chaque partenaire se concentre sur une partie déterminée.

### Laboratoire tritium

La mission du SCK•CEN consiste à étudier l'influence du tritium et des neutrons sur ce que l'on appelle les matériaux de la première

paroi, tels le béryllium et différents types de tungstène et d'alliages. Ce dernier matériau sera utilisé pour ITER et pour la génération suivante de réacteurs à fusion. Avec le Plasmatron, le SCK•CEN dispose de la seule installation de recherche de ce type en Europe où l'on peut utiliser du tritium dans ce domaine.

L'appareil est installé dans les bâtiments du SCK•CEN depuis 2008. Auparavant, l'installation se trouvait au Joint Research Centre (JRC) à Ispra (Italie) où elle aurait dû servir pour l'ancien European Tritium Handling Experimental Laboratory (ETHEL) qui n'a jamais ouvert ses portes. En 2010, une équipe de collaborateurs du SCK•CEN a démonté le Plasmatron, l'a minutieusement rénové et l'a transféré au laboratoire de tritium où il sera placé dans une boîte à gants. Afin de garantir la sûreté des expériences, le SCK•CEN a pris d'importantes mesures: le tritium étant un gaz radioactif à grande capacité de diffusion.

Les premières expériences au tritium sont prévues après 2012. Les résultats serviront entre autres pour la poursuite du développement, la construction et la licence d'ITER.

“En étudiant l'influence du tritium et des neutrons sur les matériaux de la première paroi à l'aide du Plasmatron, le SCK•CEN contribue à ouvrir la voie à la future génération de réacteurs à fusion.”

Inge Uytendhouwen



↑ *Le Plasmatron remplit une fonction cruciale dans la recherche sur l'interaction plasma-paroi.*

## SCK•CEN: 35 ans de recherche sur la fusion nucléaire

Le SCK•CEN collabore depuis 1974 au programme européen de fusion nucléaire. En tant que troisième acteur belge, le Centre d'étude a résolument opté pour la technologie de fusion. L'École Royale Militaire et l'Université libre de Bruxelles se sont intéressées à la recherche sur les plasmas. Au cours des dernières décennies, le SCK•CEN a effectué un travail de pionnier sur le plan des matériaux de structure et matériaux fonctionnels sous irradiation, de l'instrumentation, des déchets, du démantèlement, etc. Pour cela, le SCK•CEN a collaboré notamment avec la K.U.Leuven en ce qui concerne la corrosion, avec la Faculté polytechnique de Mons en ce qui concerne les capteurs et le diagnostic, et nombre de partenaires industriels par exemple, ALM, les Ateliers de La Meuse et Tractebel Engineering. Aujourd'hui, le SCK•CEN représente

environ la moitié de la contribution belge à la recherche sur la fusion, une contribution importante à un avenir énergétique durable. La fusion nucléaire est en effet une technologie sûre, neutre en CO<sub>2</sub>, durable et qui ne produit pas de déchets radioactifs à longue durée de vie.

À l'occasion de ses 35 ans de recherche en fusion, le SCK•CEN a organisé, début décembre 2010, une séance académique. Des scientifiques issus de différentes disciplines ont esquissé les principales réalisations du SCK•CEN au niveau belge, européen et international et la part de l'industrie dans le développement de la fusion. Des pronostics ont été émis sur le rôle scientifique que le SCK•CEN pourra assumer demain en matière de technologie de fusion.



## 2. L'exploitation sûre et durable des installations: une priorité absolue

Les réacteurs nucléaires d'aujourd'hui doivent suivre les développements technologiques et également répondre à d'importantes demandes de la société. Le SCK•CEN concentre sa recherche sur les matériaux et les combustibles de manière à exploiter des réacteurs fiables durablement et efficacement en termes de coûts.

## Nouveau système de contrôle pour le BR2

# L'approche préventive du contrôle processuel

En 1961, le réacteur BR2 est devenu pour la première fois critique. Toutefois, le réacteur de recherche multifonctionnel du SCK•CEN n'est pas 'périmé', bien au contraire. Grâce à des mises à jour et innovations régulières, ce réacteur est toujours à la pointe de la technologie. En 2010, le système de contrôle du BR2, un élément vital du réacteur, a été remplacé à titre préventif.

Les vérifications et les entretiens font partie intégrante de l'exploitation de toutes les installations nucléaires au SCK•CEN, y compris du BR2. Non seulement on y effectue le contrôle décennal dans le cadre de la révision de la licence nucléaire octroyée par l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN), mais, indépendamment de ce cycle de contrôle, le SCK•CEN opère aussi un suivi minutieux de la performance des différents composants du BR2. Ainsi, des innovations régulières ont permis notamment de remplacer tout l'équipement du circuit primaire, au cours de la dernière décennie. Grâce à cette actualisation technique systématique, rien n'est laissé au hasard et la sûreté reste garantie. En outre, on est sûr que le BR2 est équipé d'une technologie de pointe.

### Système de contrôle unique

Les neutrons qui se libèrent chaque fois qu'un noyau se divise, constituent la force motrice de la réaction nucléaire. Afin de garantir le fonctionnement sûr d'une installation nucléaire, il faut maîtriser la réaction nucléaire et régler le niveau de flux dans le réacteur. C'est pourquoi l'installation est équipée d'un système de contrôle. Les barres de contrôle, composées traditionnellement de cadmium, ont la propriété d'absorber fortement les neutrons. Les neutrons absorbés ne peuvent dès lors plus provoquer de fission. Les barres de contrôle ralentissent la réaction en chaîne lorsqu'elles sont enfoncées plus profondément dans le réacteur. Inversement, elles accélèrent la réaction lorsqu'elles sont enlevées du réacteur.

Ce système de contrôle est une pièce unique du réacteur. Aucun réacteur n'a des barres de contrôle conçues à l'identique. À la suite de ce que l'on appelle la combustion – c'est-à-dire la diminution progressive du matériau absorbant au fil des ans – le rendement des barres de contrôle diminue au terme d'une longue période. Au bout de cinquante années de service, les barres de contrôle du BR2 devaient être remplacées.

### Hafnium

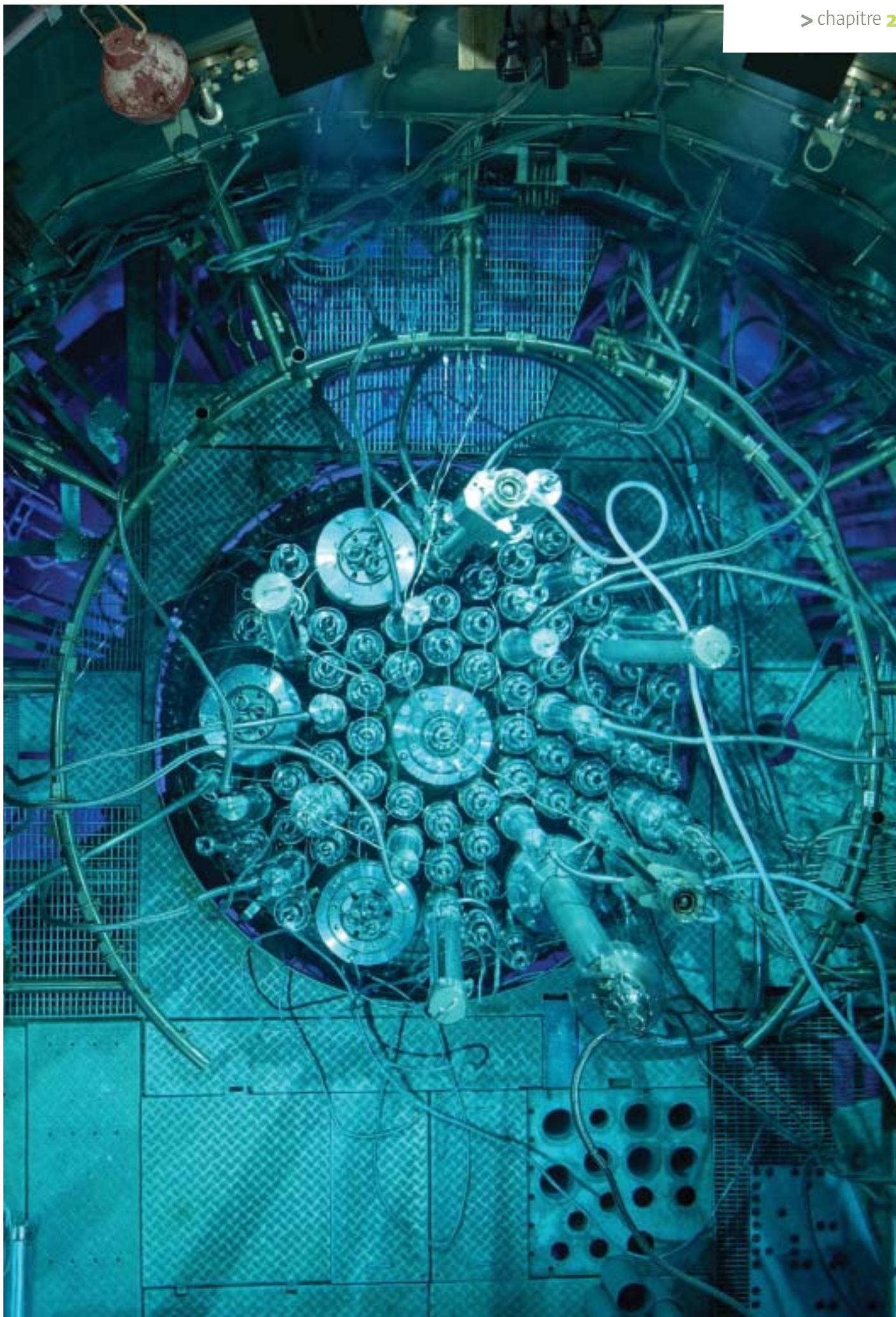
Les parties absorbantes des anciennes barres de contrôle du BR2 se composaient de cadmium. Ces barres de contrôle ont toutefois une structure complexe et sont par conséquent difficiles à produire. Le matériau adsorbant est gainé d'aluminium par coextrusion: un procédé coûteux. En outre, le cadmium est un métal toxique, et donc à éviter.

C'est pourquoi les chercheurs du SCK•CEN ont investigué une solution alternative. Sur la base d'études théoriques et d'un programme d'essai, ils ont choisi l'hafnium comme nouveau matériau absorbant. Ce matériau présente l'avantage d'être très résistant à la corrosion, de mieux absorber les neutrons et de pouvoir être produit sans traitement (sans revêtement).

*Le remplacement des barres de contrôle en cadmium par de l'hafnium → dans le BR2 a été précédé d'une longue période d'études et d'essais.*

“Les barres de contrôle du BR2 ont été remplacées; pas avant toutefois que nous n'ayons démontré la performance et la fiabilité de fonctionnement du nouveau matériau, par le biais d'une série étendue d'expériences.”

**Geert Van den Branden  
Edgar Koonen**



## Remplacement des barres de contrôle

Le remplacement des barres de contrôle en cadmium par de l'hafnium dans le BR2 a été précédé d'une longue période d'étude et d'essai. Les études théoriques ont déjà commencé en 2006. À l'époque, les spécialistes du SCK•CEN ont examiné la capacité d'absorption d'autres métaux, tels que l'euprécium. En 2008, le SCK•CEN a effectué une première série de tests comparatifs sur plusieurs échantillons dans le réacteur, ce qui a permis de déjà

valider la bonne capacité d'absorption des neutrons par l'hafnium. Puis, un rapport d'essai a été établi sur la base d'une expérience plus vaste, après quoi l'AFCN a autorisé l'utilisation à plein régime des barres en hafnium.

En février 2010, les anciennes barres de contrôle ont été remplacées par les nouvelles. Celles-ci serviront jusqu'à la fin de la durée de vie du BR2, ou jusqu'au moment où le nouveau réacteur de recherche MYRRHA sera opérationnel.

## BR2: un réacteur, des objectifs multiples

Le Belgian Reactor 2 ou BR2 est l'un des réacteurs de recherche les plus puissants au monde. Depuis son lancement en 1963, ce réacteur d'essai de matériaux fonctionne à l'uranium hautement enrichi, avec de l'eau sous pression comme liquide réfrigérant et modérateur. Le BR2 joue un rôle de premier plan dans la recherche internationale sur le comportement des matériaux de réacteur. Dans le BR2, le SCK•CEN irradie des combustibles et des matériaux pour divers types de réacteur et pour le programme de fusion nucléaire européen.

Outre la recherche, le BR2 a aussi une fonction de production. Aux quatre coins du monde, le BR2 assure, avec quatre autres réacteurs, la production de 90 % de la quantité totale de molybdène-99. Il s'agit du radio-isotope utilisé en médecine nucléaire pour le diagnostic et le traitement. D'autres radio-isotopes sont utilisés dans l'industrie. On les trouve par exemple dans des capteurs pour mesurer la densité ou la teneur en humidité de diverses substances.

Dans le BR2, on effectue également des irradiations de silicium. On produit ainsi des semi-conducteurs de haute qualité, utilisés entre autres dans les composants électriques de voitures hybrides et d'éoliennes. Récemment, le SCK•CEN a encore équipé le BR2 d'une installation supplémentaire, qui permet l'irradiation de plus gros blocs de silicium.

Le SCK•CEN est certifié ISO 9001 tant en ce qui concerne la production du radio-isotope molybdène-99 qu'en ce qui concerne le dopage de silicium.



↑ *Transbordement des matériaux irradiés pour l'extraction de radio-isotopes à usage médical. En 2010, le BR2 a déployé des efforts considérables pour assurer la continuité de l'approvisionnement en molybdène-99. La capacité d'irradiation a été accrue de 50 % et la durée de fonctionnement du réacteur de 25 %. Le SCK•CEN a ainsi réalisé en 2010 une production équivalente à 25 % des besoins mondiaux.*

## Examen minutieux de la durée de vie des combustibles

# Une expertise mondialement appréciée utilisée dans les centrales nucléaires belges

Grâce à la recherche et au développement continu, la consommation de combustibles des centrales nucléaires a sensiblement diminué au cours des dernières décennies. Par rapport aux années 1970, les barres de combustible durent aujourd'hui 2,5 fois plus longtemps. Un avantage économique manifeste. Mais chose plus importante encore: la quantité de déchets radioactifs produite est moindre. Au cours des deux dernières années, le SCK•CEN a examiné, à la demande de GDF-SUEZ, la question de savoir si les barres de combustible pouvaient être utilisées plus longtemps dans les centrales nucléaires belges, sans nuire à la sûreté.

Le combustible d'une centrale nucléaire se trouve dans une barre ou crayon de combustible. Les barres de combustible consistent en de longues enveloppes métalliques dans lesquelles on place des pastilles céramiques d'oxyde d'uranium (le combustible). Ces pastilles, qui fournissent l'énergie par la fission nucléaire des atomes d'uranium, sont empilées en une colonne pouvant atteindre 4 mètres de haut dans la cavité de l'enveloppe qui se compose (généralement) de Zircaloy. Il s'agit d'un alliage résistant à la chaleur et à la corrosion, qui résiste aussi très bien au rayonnement neutronique émis lors de la fission et indispensable au maintien de la réaction. Durant la production de combustible, quelques dizaines voire centaines de barres de combustible sont assemblées en faisceaux. Le cœur du réacteur d'une centrale nucléaire est constitué de plus d'une centaine de ces faisceaux de combustible, appelés également «assemblages».

### Point de la situation

La combustion massive ou le burn-up des barres de combustible est une mesure de la quantité d'énergie qui a été générée à la fin de leur vie à partir de l'oxyde d'uranium en présence. Plus la combustion est importante, plus la quantité d'énergie extraite du combustible est élevée et moins on produit de déchets. Le but est d'augmenter la combustion et donc la durée de vie des éléments combustibles. Mais laisser brûler telles quelles les barres de combustible sans mener au préalable une étude approfondie, n'est ni réalisable, ni sûr. L'opération des réacteurs doit rester rentable d'un point de vue économique et le risque de fuite peut augmenter si la combustion se poursuit encore.

GDF-SUEZ a demandé au SCK•CEN d'examiner la question de savoir si les barres de combustible des centrales nucléaires belges peuvent avoir une durée de vie plus longue. Dans une étude détaillée sur le sujet, les experts en combustibles du SCK•CEN ont dressé un point de la situation dans le domaine des hauts taux de combustion, en exposant aussi

“Grâce à notre expertise, GDF-SUEZ dispose d'un deuxième avis indépendant sur la durée de vie acceptable des combustibles dans les centrales nucléaires belges.”

**Marc Verwerft**

les lacunes de la recherche. À partir de résultats rassemblés, les experts ont dressé une synthèse axée sur le contexte belge. Le but de cette étude était de mieux comprendre les processus et de les répertorier afin de vérifier si le combustible peut être utilisé de manière optimale, économiquement durable dans les centrales belges.

### Expertise personnelle

Le SCK•CEN a d'abord répertorié les études réalisées sur les processus et les caractéristiques physiques fondamentaux à haut taux de combustion, tels que la dilatation des pastilles ou la résistance à la corrosion des gaines de combustible. Dans le deuxième volet, il a énuméré les expériences ayant permis de vérifier si un réacteur contenant une quantité importante de combustible à haut taux de combustion pouvait être arrêté sans risque dans des conditions accidentelles. Dans le troisième volet de son étude, le SCK•CEN a rassemblé les processus physiques et les conditions opérationnelles dans MACROS. Il s'agit d'un code de calcul théorique, développé il y a quelques années par le SCK•CEN qui calcule comment la barre de combustible réagit si l'on continue de l'utiliser dans le réacteur.

### Utilisation optimale du combustible

L'étude a révélé qu'une quantité importante de recherches a déjà été réalisée de par le monde à propos de la combustion à très haut taux. Les conditions dans lesquelles les centrales nucléaires fonctionnent relèvent du domaine de la recherche internationale. L'étude a donc également montré que la combustion peut être prolongée dans nos centrales belges. Étant donné que la recherche sur les combustibles s'effectue souvent à la demande des vendeurs de combustibles, plutôt qu'à la demande des exploitants de centrales, GDF-SUEZ dispose à présent, avec l'étude du SCK•CEN, de l'opinion d'un organisme indépendant. Lors de la réalisation de cette étude, les chercheurs du SCK•CEN se sont appuyés sur l'expérience, longue de plusieurs années, de centrales nucléaires situées notamment en France et au Japon pour la recherche sur les combustibles.

Le SCK•CEN contrôle la durée de vie des réacteurs étrangers

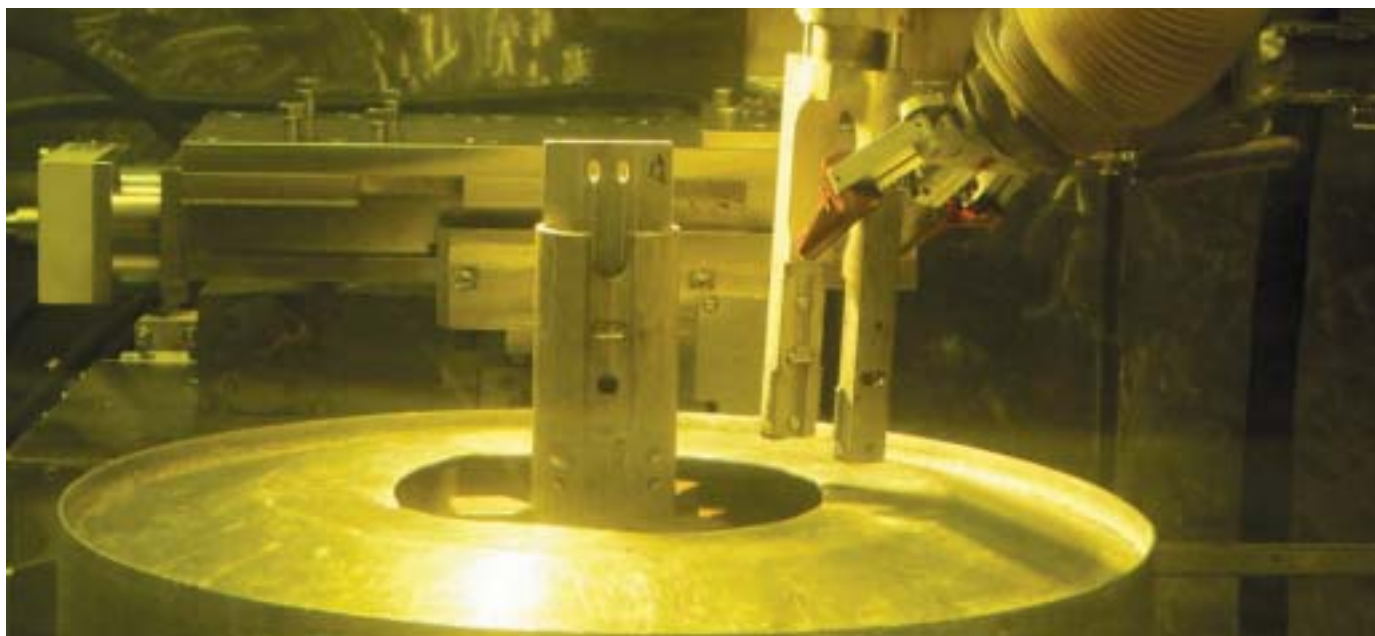
## Demande internationale de programmes de surveillance

La sûreté constitue la priorité absolue dans l'exploitation d'une centrale nucléaire. L'état de l'acier de cuve du réacteur – le cœur de la centrale – est critique. Au cours des dernières années, le SCK•CEN a développé un programme bien pensé de suivi de la dégradation de l'acier de cuve dans les centrales nucléaires belges. Entretemps, les demandes se sont multipliées pour le lancement de ces programmes de pointe permettant de tester les matériaux dans les centrales nucléaires situées à l'étranger.

Le fonctionnement sûr d'une centrale nucléaire est lié à différentes parties de l'installation. Certaines parties, telles que les générateurs de vapeur, sont entretenues à intervalles réguliers voire entièrement remplacées afin de garantir la sûreté. Le remplacement de la cuve du réacteur – le «bac» dans lequel les réactions nucléaires ont lieu – est inconcevable d'un point de vue technique et économique. Si la cuve du réacteur ne répond plus aux exigences, cela signifie la fin de la centrale nucléaire. Cette partie est en effet particulièrement critique pour la sûreté: elle renferme le cœur hautement radioactif du réacteur et comprend également le circuit de refroidissement.

### ATUCHA I

Le rayonnement ionisant auquel la cuve du réacteur est soumise pendant des années peut provoquer ce que l'on appelle une fragilisation du métal. Combiné au vieillissement thermique, ce phénomène peut affaiblir le métal. La sûreté du réacteur n'est plus garantie dans ce cas. Il est donc essentiel de contrôler en permanence l'état de l'acier de cuve à l'aide d'un programme de surveillance (voir encadré p. 34). L'expertise du SCK•CEN dans ce domaine est inégalée et reconnue dans le monde entier, comme en témoigne la demande internationale de programmes de surveillance du SCK•CEN émise par l'Argentine, par exemple.



↑ Les capsules contenant les échantillons ont été placées à l'aide d'un bras robotisé conçu et installé par le SCK•CEN.



↑ *Détail du bras robotisé.*

Lors du lancement de la centrale nucléaire argentine ATUCHA I en 1973, aucun programme de surveillance n'avait été prévu. Cela signifie qu'aucune place n'avait été initialement prévue dans le réacteur pour accueillir les capsules contenant les échantillons (sur lesquels le programme de surveillance est basé). Le programme de surveillance n'a été implémenté qu'à un stade ultérieur.

## Phénomène

ATUCHA I est le seul réacteur commercial à eau lourde sous pression (pressurized heavy water reactor) au monde. Cela signifie que le réacteur peut utiliser de l'uranium naturel non enrichi comme combustible et la  $D_2O$  ou «eau lourde» comme liquide réfrigérant et modérateur. Ce concept n'a pas permis de placer les capsules à l'endroit habituel dans le réacteur, contre la surface extérieure du cœur. Au lieu de cela, les échantillons contenus dans les capsules ont été installés sous le cœur du réacteur. Les résultats de mesure qui en ont découlé ont été surprenants: la fragilisation du métal des échantillons s'est avérée beaucoup plus importante qu'on ne l'aurait pensé.

À la demande de l'exploitant argentin NASA (Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima) et de l'autorité argentine ARN (Autoridad Regulatoria Nuclear), le SCK•CEN a recherché en collaboration avec Belspo (Belgian Science Policy) l'origine de ce phénomène, en 2002. Après l'irradiation des échantillons dans le BR2 et une post-étude approfondie, il s'est avéré que la fragilisation n'était pas anormalement élevée, cette fois. Cela étayait l'hypothèse selon laquelle la fragilisation accrue dans le réacteur argentin était due au positionnement des capsules. Sous le cœur du réacteur, la concentration de neutrons thermiques est en effet beaucoup plus importante, ce qui accélère le vieillissement du métal.

La reconstitution (le fait de reconstruire des échantillons déjà testés), une technique développée par le SCK•CEN qui permet d'obtenir davantage d'informations à partir du même échantillon, confirme cette conclusion. Sur la base de ces constatations et de données expérimentales provenant de réacteurs d'autres pays, on a quand même pu établir la marge de sûreté du réacteur. Le rapport établi par le SCK•CEN, en tant que coordinateur d'un pool

d'experts nucléaires, a confirmé que la durée de vie de la centrale pouvait sans problème être prolongée de 40 à 60 ans.

## ATUCHA II

Récemment aussi, la NASA et le SCK•CEN ont collaboré étroitement dans le cadre du programme de surveillance d'ATUCHA II. La grande sœur d'ATUCHA I doit répondre à la demande énergétique accrue en Argentine et démarrera ses activités en septembre 2011. Sur le conseil du SCK•CEN, on a choisi d'installer un programme de surveillance sur la paroi interne de la cuve contenant le modérateur, et non sous le cœur. Ce choix doit garantir la fiabilité du programme de surveillance.

Le SCK•CEN a réalisé une étude de faisabilité afin de vérifier si le programme de surveillance spécifique pouvait être concrétisé et rédigé un rapport de sûreté détaillé et argumenté pour les autorités de sûreté argentines. Les capsules contenant les échantillons ont été placées dans ATUCHA II à l'aide d'un bras robotisé conçu et installé par le SCK•CEN. Une prouesse technologique familière au SCK•CEN depuis le démantèlement du BR3. En 2011, on poursuivra l'étude du choc thermique sous pression (pressurized thermal shock ou PTS). À cet égard, on examinera le comportement de l'acier de cuve soumis à la contrainte la plus sévère pour la cuve du réacteur, lorsque celui-ci refroidit tout en restant sous pression.

## Reconnaissance internationale

L'expertise des matériaux du SCK•CEN fait également mouche dans d'autres pays. À la demande du KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute), l'institut de recherche coréen pour l'énergie atomique, le SCK•CEN a mis en œuvre un programme de surveillance avancé dans les centrales nucléaires sud-coréennes, sous l'œil attentif de l'autorité de sûreté nucléaire KINS (Korea Institute of Nuclear Safety). Les centrales nucléaires espagnoles ont également fait appel à l'expertise du SCK•CEN pour la mise sur pied et l'installation d'un nouveau programme de surveillance. Les chercheurs du SCK•CEN ont aussi effectué des essais de matériaux détaillés sur des échantillons des centrales nucléaires suédoises.

## Surveillance avancée: un exemple de l'expertise des matériaux du SCK•CEN

La dégradation du matériau de la cuve du réacteur est suivie de près durant toute la durée de vie d'une centrale nucléaire, à l'aide d'un programme de surveillance minutieusement étudié. Ce programme utilise des échantillons constitués du même matériau que la cuve du réacteur et son métal de base. Ces échantillons se trouvent dans des capsules qui sont placées entre le réacteur et la cuve du réacteur. Cela permet d'analyser l'évolution des propriétés du matériau. En examinant les capsules à intervalles réguliers, on peut suivre et même prédire les propriétés mécaniques des matériaux de la cuve.

Le SCK•CEN teste toutes les capsules des réacteurs nucléaires belges depuis leur entrée en fonction et dispose donc des séries de données historiques complètes de ce programme de surveillance. Outre les tests légalement obligatoires, le SCK•CEN exerce aussi depuis quelques années, en accord avec l'exploitant de la centrale, une surveillance plus poussée qui accroît la précision et qui confère une marge de sûreté supplémentaire. Combinées à un historique de données précieuses, ces méthodes d'essai font du SCK•CEN le centre de recherche par excellence pour les études dans le domaine de la fragilisation métallique dans les centrales nucléaires.

“Ces dernières années, le SCK•CEN se présente comme le centre de recherche par excellence pour des études dans le domaine de la fragilisation métallique dans les centrales nucléaires. Nous ne nous limitons pas au suivi des centrales nucléaires belges, mais nous offrons aussi notre expertise aux quatre coins du monde, notamment en Suisse, en Espagne, en Corée du Sud et en Argentine.”

**Marc Scibetta**

## Nouveaux combustibles pour réacteurs anti-prolifération

# Le SCK•CEN, pivot de la recherche internationale

Plusieurs réacteurs de recherche dans le monde, dont BR2, fonctionnent encore avec des combustibles hautement enrichis, sensibles à la prolifération. Pour permettre le passage à un combustible à faible enrichissement, sans perte de performance, il faut un combustible de très haute densité. Au cours des dernières années, le SCK•CEN s'est érigé en station d'essai mondiale pour les nouveaux combustibles à faible enrichissement.

Afin d'empêcher la prolifération d'uranium hautement enrichi, un matériau stratégique pouvant être utilisé abusivement dans des armes nucléaires, 189 pays ont signé le traité de non-prolifération nucléaire. Dans ce traité, ils se déclarent notamment prêts à stopper l'utilisation de combustibles hautement enrichis dans des applications civiles. À cet effet, les réacteurs de recherche qui fonctionnaient auparavant encore au combustible enrichi devaient passer à un combustible à faible enrichissement (avec moins de 20 % d'uranium-235).

### Flux neutronique élevé

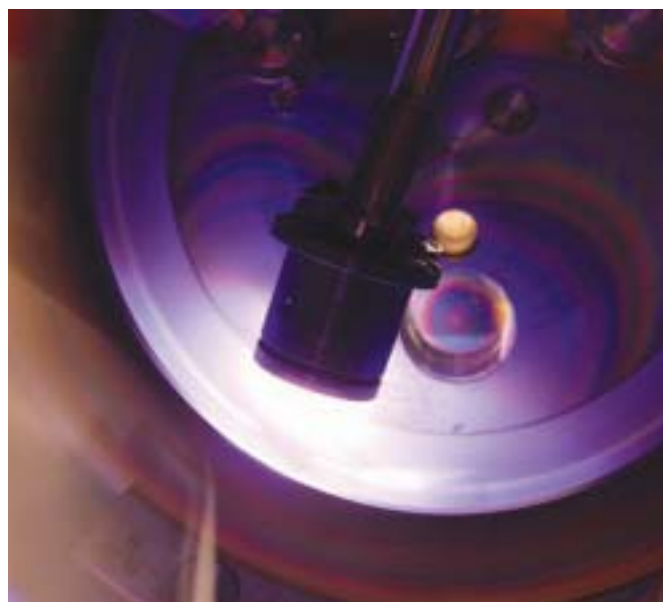
La performance d'un réacteur de recherche dépend de sa capacité à générer un flux neutronique élevé dans un cœur compact. L'enrichissement du combustible est le meilleur moyen d'y parvenir. D'un point de vue historique, c'est la raison pour laquelle la plupart des réacteurs de recherche ont fonctionné pendant des années avec un combustible ( $UAl_x$ ) composé à plus de 90 % d'uranium-235 ( $^{235}U$ ). Le grand défi, dans le passage de l'uranium hautement enrichi à l'uranium faiblement enrichi, consistait donc à développer un combustible à l'uranium faiblement enrichi qui permette aux réacteurs de recherche de rester aussi performants. Afin de maintenir le même niveau de performance, le combustible faiblement enrichi doit avoir une très haute densité (au moins six fois plus élevée que celle de l' $UAl_x$ ), de sorte que la diminution de l'enrichissement de l'uranium-235 soit compensée.

### Densité plus élevée

Le combustible  $U_3Si_2$  (affichant une densité de trois à quatre fois plus élevée) était la première solution possible. Depuis le début de l'année 2000, de nombreux réacteurs ont opéré avec succès la transition vers ce combustible. Certains tests révèlent toutefois que les réacteurs de recherche produisant le plus haut flux de neutrons,

dont le réacteur d'essai de matériaux BR2, sont beaucoup moins performants s'ils fonctionnent à l' $U_3Si_2$ . Pour transformer ces réacteurs de recherche en réacteurs utilisant un combustible à faible enrichissement, tout en maintenant un niveau de performance identique, il faut une densité de combustible encore plus élevée. L'alliage uranium-molybdène ( $U(Mo)$ ), où quelques pourcents de molybdène sont ajoutés à de l'uranium, semblait très prometteur.

Comme pour l' $UAl_x$  et l' $U_3Si_2$ , les granulés de combustible  $U(Mo)$  sont mélangés à une poudre d'aluminium (matrice) et comprimés entre deux plaques d'aluminium. Durant l'expérience d'irradiation



↑ Pulvérisation d'un revêtement de silicium sur une surface d' $U(Mo)$ .

## Le Laboratoire de haute et de moyenne activité

Dans le Laboratoire de haute et de moyenne activité (LHMA), le SCK•CEN évalue les effets d'irradiation sur les matériaux utilisés dans les installations nucléaires actuelles et futures. Les chercheurs analysent, à l'aide d'instruments de recherche de microstructure, non destructifs et physico-chimiques, les dommages subis par les matériaux et leur processus de vieillissement à la suite d'une irradiation. Grâce à ces données, il est possible de contrôler et de prédire le comportement et la durée de vie des matériaux par le biais de modèles de calcul. De telles recherches sont essentielles notamment pour évaluer correctement la durée de vie des réacteurs nucléaires.

Le LHMA dispose à cet effet de plusieurs cellules blindées (hot-cells) équipées d'un matériel spécialisé qui permet d'étudier les matériaux irradiés (combustibles, matériaux de réacteur) en toute sécurité. Le blindage consiste en d'épais murs de béton ou de plomb, pourvus de fenêtres en verre flint. Le matériel est commandé à distance à l'aide de télémanipulateurs afin que le risque d'exposition soit minime.



↑ Opérateur de cellules blindées utilisant les télémanipulateurs lors de recherches sur des matériaux hautement radioactifs au LHMA.

FUTURE menée en 2003 dans le BR2, il est toutefois ressorti que l'U(Mo) réagit avec la matrice en aluminium des plaques de combustible, qui présentent un effet de dilatation inacceptable.

## E-FUTURE

Une étude précédente révélait déjà que l'ajout de silicium contribue à stabiliser l'interaction entre l'uranium et l'aluminium. Afin de mieux étudier l'effet et de qualifier le combustible U(Mo) par l'ajout de silicium en conditions réelles, le SCK•CEN s'est associé avec le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), l'ILL (Institut Laue-Langevin) et CERCA (Compagnie pour l'Étude et la Réalisation de Combustibles Atomiques) dans LEONIDAS.

En 2010, ce consortium international a irradié, dans le BR2, quatre plaques de combustible dans le dispositif d'irradiation E-FUTURE avec une quantité différente de silicium et un traitement thermique différent. Ce dernier est nécessaire pour obtenir du silicium à l'interface entre les granulés de combustible et l'aluminium. Le SCK•CEN vérifiera dans le cadre d'une post-étude approfondie sur le combustible refroidi (via spectrométrie gamma, spectroscopie, microscopie, etc.) si l'interaction est suffisamment stabilisée. Sur la base de ces résultats, il sélectionnera le meilleur candidat parmi ces quatre plaques pour une expérience d'irradiation de qualification.

## Recherche supplémentaire

Mais l'expérience E-FUTURE suscite de nouvelles questions sur le plan de la recherche. Ainsi, le silicium complique potentiellement le retraitement de l'U(Mo) après usage, ce qui engendre des frais supplémentaires. Il s'agit donc de limiter au minimum l'ajout de silicium ou, si possible, de l'éviter. C'est pourquoi le SCK•CEN a entamé le projet SELENIUM en collaboration avec la Université Gent. À l'aide d'un pulvérisateur cathodique, la surface en U(Mo) est enduite de silicium. Cela permet de réduire la quantité de silicium nécessaire pour stabiliser l'interaction entre l'aluminium et l'U(Mo). Les chercheurs ont également entamé des expériences avec une couche de nitrure de zirconium comme inhibiteur.

Début 2011, le SCK•CEN a fourni des poudres traitées à base d'U(Mo) à CERCA, qui les incorporera dans des plaques de combustible d'essai. En août 2011, les tests d'irradiation débiteront dans le BR2.

“Au cours des dernières années, le SCK•CEN s'est érigé en station mondiale d'essai de nouveaux combustibles à faible enrichissement.”

Sven Van den Berghe

La Belgique et la France unissent leurs forces dans la recherche sur les instruments de mesure

## Le SCK•CEN et le CEA développent ensemble un nouveau type de détecteur gamma

Pour pouvoir interpréter les expériences d'irradiation avec précision, la surveillance en temps réel est essentielle. Le SCK•CEN a acquis plusieurs années d'expertise dans le développement de capteurs pour le suivi du flux neutronique, de la température, du rayonnement gamma, etc. Depuis 2006, il collabore à cet effet avec le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique). Dans le laboratoire commun d'instrumentation, les deux partenaires partagent la recherche et les résultats de la recherche. Récemment, ils ont introduit une demande conjointe de brevet pour un nouveau type de capteur permettant de mesurer les rayons gamma.

Le détecteur de rayons gamma autonome (self-powered gamma detector ou SPGD) permet de mesurer le champ de rayonnement gamma de l'échauffement nucléaire, indépendamment des neutrons. De cette manière, les chercheurs peuvent mieux comprendre le rôle des rayons gamma dans l'échauffement des matériaux du réacteur. Cet instrument de mesure repose sur le principe selon lequel les rayons gamma qui traversent du métal lourd créent des électrons hautement énergétiques. Le courant électrique ainsi généré peut être mesuré de façon externe.

### Design optimisé

Les détecteurs de rayons gamma existants présentent deux inconvénients: la taille (trop importante) et la sélectivité gamma (insuffisante). Afin de simplifier les mesures et de les rendre plus fiables, le SCK•CEN et le CEA ont développé conjointement un nouveau SPGD. Les partenaires de recherche ont réussi à améliorer la géométrie et la méthode de fabrication. Ainsi, on a choisi de travailler avec du bismuth, que l'on fond dans le SPGD, ce qui améliore le contact entre l'isolant et le conducteur de bismuth. Pour le conducteur central, le SCK•CEN et le CEA ont opté pour un autre concept, afin que le signal puisse provenir de deux côtés. Ces optimisations ont provoqué une réaction plus rapide et un signal plus stable et plus important. Le diamètre du détecteur a pu être limité à 3 millimètres.

### Tests d'irradiation

Afin de déterminer et de valider la sensibilité du nouveau capteur aux rayons gamma, une série de tests d'irradiation a été effectuée. Les chercheurs français ont irradié des prototypes dans un champ 100 % gamma et dans un champ combiné de neutrons et de rayons gamma, à



l'intérieur du réacteur de recherche OSIRIS. Dans l'expérience GALACO, trois types de SPGD ont été irradiés pendant trois semaines dans le BR2, avec des mesures de référence continues et sur différentes positions. La sensibilité aux rayons gamma de ces trois modèles s'est avérée conforme aux résultats des expériences menées dans OSIRIS. Sur la base de ces tests, on a sélectionné le type de détecteur optimal et on a introduit une demande de brevet. Le brevet a déjà fait l'objet d'une évaluation positive. En outre, un partenaire industriel a témoigné de l'intérêt pour la commercialisation du détecteur.

### Autres thèmes communs

Outre le SPGD, le SCK•CEN et le CEA ont axé les développements concernant le capteur sur trois autres thèmes: la détection en ligne de neutrons rapides dans les réacteurs thermiques, la mesure dimensionnelle en ligne du combustible sous irradiation au moyen de fibres optiques et le suivi du dégagement de gaz de fission via un capteur acoustique. Une demande de brevet a été introduite pour chacun de ces thèmes.

“Le SCK•CEN et le CEA ont développé conjointement des instruments de mesure de pointe dans le Laboratoire commun d'instrumentation. Récemment, ils ont développé et validé un nouveau type de détecteur de rayons gamma. Ce fut une réussite absolue.”

**Ludo Vermeeren**



### 3. Protéger l'homme et son environnement: notre expertise fait la différence

L'utilisation de radiations ionisantes comporte des risques pour l'homme et son environnement. Pour le SCK•CEN, c'est la raison par excellence pour laquelle nous devons développer des connaissances sur la protection contre ces radiations et proposer notre expertise aux pouvoirs publics, au monde médical, à l'industrie, ... Ainsi, le SCK•CEN collabore à des applications durables de radiations ionisantes qui tiennent pleinement compte de la santé de l'homme et de son environnement et des préoccupations d'ordre social sur la technologie nucléaire.

---

Tâter le pouls, jour après jour

## Mesures SCK•CEN: la base du programme de surveillance radiologique pour la Belgique

Depuis 1957, la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) oblige les états membres de l'Union européenne à contrôler la situation radiologique sur leur territoire. Le SCK•CEN a développé une expertise de plusieurs années dans les analyses et mesures radiologiques, qu'il met à la disposition du programme de surveillance de l'État belge. Avec pour seul objectif: détecter à un stade précoce la moindre transgression des normes radiologiques dans l'alimentation, l'air ou l'eau.

L'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN) exerce la surveillance radiologique en Belgique de deux manières. Grâce au système d'alerte précoce TELERAD (early warning system), elle contrôle en permanence la radioactivité totale de l'air à plus de 200 endroits, ainsi que les particules atmosphériques et l'eau de certaines rivières dans un nombre limité de lieux. Ces points de mesure sont reliés à un système d'alerte central qui se déclenche automatiquement lorsque la radioactivité dépasse une valeur déterminée. Par ailleurs, l'AFCN fait appel aux services de laboratoires spécialisés du SCK•CEN et de l'IRE (Institut National des Radioéléments) à Fleurus. Les deux centres de recherche effectuent périodiquement des mesures, prélèvent des échantillons et les analysent dans le cadre de ce programme de surveillance.

### Plus de 5 300 échantillons par an

Les campagnes de prélèvement d'échantillons et les mesures in situ constituent la pierre angulaire de la surveillance radiologique sur le terrain. Elles permettent d'affiner le profil radiologique du territoire belge et d'évaluer avec beaucoup de précision les niveaux de radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement. Chaque année, on prélève plus de 5 300 échantillons qui font l'objet d'environ 32 000 analyses de radioactivité. Le SCK•CEN prend en charge une grande partie de ces analyses. Après la cessation des activités liées aux mesures nucléaires à l'Institut scientifique de Santé publique de Bruxelles, qui a également effectué des mesures pour le compte de l'AFCN pendant des années, les activités du SCK•CEN relatives au programme de surveillance ont redoublé en 2010.

### Mesurage continu

Les experts du SCK•CEN prélèvent entre autres des échantillons d'herbe, d'eau de surface, de poussières de l'air, de lait, de viande et de légumes et les analysent. Certains sont prélevés quotidien-

“Afin de garantir la sécurité radiologique, on prélève annuellement plus de 5 300 échantillons sur le territoire belge et on effectue environ 32 000 analyses de radioactivité. Nous prenons en charge une grande partie de ces analyses.”

**Christian Hurtgen**  
**Liesel Sneyers**  
**Klaas van der Meer**

nement – comme le lait de fermes situées aux abords de sites nucléaires – d'autres de manière hebdomadaire, mensuelle ou trimestrielle. Le SCK•CEN étudie également la zone maritime belge et les organismes qui la peuplent. Et ce, dans le cadre de la convention internationale OSPAR qui protège le milieu marin de l'océan Atlantique Nord-Est et de la mer du Nord. Les experts du SCK•CEN réalisent aussi des mesures autour de sites où se déroulent des activités non nucléaires et qui peuvent avoir un impact radiologique sur l'environnement, à proximité de l'industrie NORM (Natural Occurring Radioactivity Materials) par exemple.

### BELAC

Indépendamment du programme de surveillance belge, le SCK•CEN est contraint, dans le cadre de sa licence d'exploitation, de contrôler la radioactivité autour de ses propres installations. Le Centre assure aussi lui-même le suivi de la sécurité radiologique et de la santé de ses travailleurs et des externes qui ont accès au site. Il dispose à cet effet d'un service spécialisé de contrôle physique.

Le laboratoire du SCK•CEN chargé des mesures de faible radioactivité figure parmi les rares laboratoires belges accrédités par BELAC (l'organisme d'accréditation des laboratoires et des organismes de contrôle) pour les mesures alpha, bêta et gamma.



↑ Échantillonnage d'eau de pluie au SCK•CEN à Mol.



↑ Vidange du bac à sédiments dans la Grande Nèthe à Geel.

## Quel impact le rayonnement ionisant a-t-il sur l'homme et l'environnement?

# Utilisation des modèles de biosphère du SCK•CEN dans les études internationales

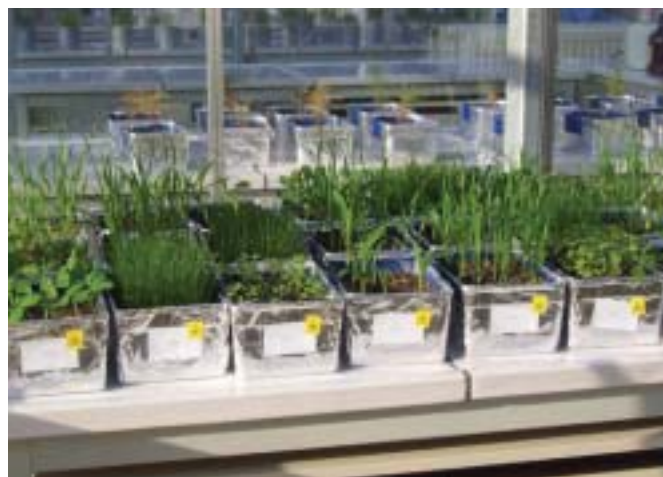
Certaines activités nucléaires peuvent avoir un impact sur l'homme et l'environnement. Pour connaître précisément l'ampleur de cet impact, il est essentiel de comprendre la propagation et le comportement des substances radioactives dans l'environnement. Cette connaissance est également nécessaire pour pouvoir prendre les mesures adéquates, destinées à limiter la dose de radiations. L'analyse des effets environnementaux de MYRRHA et l'analyse des installations d'enfouissement des déchets ne sont que quelques-unes des applications des études d'impact de biosphère du SCK•CEN.

Quelle influence le sol exerce-t-il sur l'absorption d'uranium par les plantes? Quel est l'effet des substances radioactives sur la photosynthèse? Comment les radio-isotopes se comportent-ils dans l'eau et dans le sol? Quel effet les radio-isotopes ont-ils sur des plantes datant de plusieurs années? Les radio-isotopes peuvent-ils se retrouver dans le corps humain, par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire? Afin de mieux comprendre les processus radioécologiques, le SCK•CEN réalise des expériences en laboratoire et sur le terrain et développe des modèles innovants qui permettent de pronostiquer les doses radiologiques assimilées par l'homme et l'environnement. Les chercheurs étudient aussi la question de savoir comment on peut éviter la contamination radiologique de l'environnement.

### Modèles d'impact

Les chercheurs du SCK•CEN examinent minutieusement le comportement de radio-isotopes critiques dans l'environnement et ce, dans différents milieux et situations. Songeons à l'enfouissement des déchets, aux industries qui traitent des matériaux contenant une radioactivité naturelle, aux rejets routiniers de l'industrie nucléaire, etc. Ce type d'expertise importe également dans l'analyse des effets environnementaux de MYRRHA. Grâce aux connaissances acquises, le SCK•CEN développe des modèles d'impact et élabore des contre-mesures de gestion du territoire dans les régions contaminées.

Les radioécologistes du SCK•CEN développent, en collaboration avec l'Université catholique de Louvain, l'Université de Liège et Gembloux Agro-Bio Tech, un modèle de simulation qui dresse la carte des interactions entre la nappe souterraine, le sol et les plantes. Les plantes vieilles de plusieurs années peuvent en effet absorber l'eau souterraine et donc favoriser la propagation de la radioactivité dans l'environnement.



↑ Étude de l'absorption de radionucléides par les plantes pour différents types de sols.

Le SCK•CEN a perfectionné à cet effet des modèles existants de type SVAT («Soil Vegetation Atmosphere Transfer» ou Transfert Sol-Végétation-Atmosphère), afin d'évaluer l'influence de l'écosystème sur la propagation des radio-isotopes. Ce modèle permet notamment d'apprécier les risques liés aux déchets radioactifs à long terme.

### Biomarqueurs

Pendant des années, la protection de l'environnement contre le rayonnement radioactif s'est résumée par le credo suivant: «si l'homme est protégé, l'environnement l'est aussi». Récemment toutefois, la recherche sur les effets du rayonnement sur les organismes non humains s'est accélérée.



↑ Mise en œuvre d'un système de collecte des semences d'*Arabidopsis thaliana* exposées aux facteurs de stress.

Le SCK•CEN procède à des expériences sur l'arabette de *Thalium* et la lentille d'eau, exposées à des radiations ionisantes. Les chercheurs étudient l'effet du rayonnement non seulement sur la croissance et la photosynthèse de ces petites plantes, mais aussi l'influence sur leur niveau moléculaire et génétique. Outre les expositions à l'uranium et au rayonnement, ils examinent aussi de plus près certaines combinaisons de pollution, par exemple, un mélange de métaux lourds et de radiations. L'Université de Hasselt et l'Université d'Anvers sont des partenaires importants dans ces expériences. En outre, le SCK•CEN développe des tests qui permettront d'utiliser les plantes comme biomarqueur dans un «système d'alerte précoce» à la contamination radiologique.

## Écho international

Pour démontrer que la réglementation relative à la protection de l'homme et de l'environnement est appliquée, il est essentiel de connaître l'effet des rejets radiologiques sur l'homme et l'environnement. Le SCK•CEN développe et utilise divers modèles d'exposition afin de prévoir l'impact des radio-isotopes. À la demande de l'ONDRAF (l'Organisme National des Déchets RADIOactifs et matières Fissiles enrichies), il perfectionne des modèles biosphériques pour étudier la sûreté à long terme des sites d'enfouissement des déchets radioactifs. Il développe des modèles d'eau de surface performants afin de mieux prévoir la propagation des radio-isotopes en cas d'accident.

## Soutien

Au cours de ces dernières années, le SCK•CEN s'est pleinement investi dans la recherche radioécologique et jouit de ce fait d'une renommée internationale. En Europe, il est l'un des plus grands centres de recherche pour la recherche radioécologique et l'un des

pilliers dans ce domaine en matière de "networking" et d'output scientifique. Les modèles développés par le SCK•CEN sont notamment utilisés dans la recherche internationale sur les sites d'enfouissement de déchets ou de matériaux présentant une radioactivité naturelle (NORM).

L'expertise du SCK•CEN dans les études d'incidence s'avère profitable pour les projets internationaux de collaboration. En outre, son infrastructure de recherche unique, avec des installations d'irradiation à la pointe de la technologie, des laboratoires bien équipés et une licence exclusive en Europe lui permettant de mener des expérimentations animales, constitue un atout important dans le monde de la recherche internationale.

"En Europe, le SCK•CEN est l'un des plus grands centres de recherche pour la recherche radioécologique et l'un des piliers dans ce domaine en matière de "networking" et d'output scientifique."

**Hildegarde Vandenhove**

---

Protéger le personnel médical en radiologie interventionnelle

## ORAMED formule des recommandations pour le secteur médical

L'utilisation de radiations ionisantes ne cesse de croître dans la médecine. Outre la protection des patients contre des doses de radiations trop élevées, la radioprotection du personnel médical est aussi une question particulièrement préoccupante. En radiologie interventionnelle et en médecine nucléaire, les doses de radiations absorbées par les médecins et les collaborateurs doivent faire l'objet d'un suivi minutieux. Le projet européen ORAMED a fourni des instruments et des procédures qui permettent de maîtriser l'exposition du personnel médical dans le cadre de ces applications.

Dans la radiologie interventionnelle, on utilise l'imagerie médicale non seulement pour poser un diagnostic mais aussi pour réparer des lésions dans le système vasculaire. Des radiologues qualifiés effectuent des traitements minimalement invasifs à l'aide de diverses techniques d'imagerie. Ces procédures utilisent des cathéters ou de très petits instruments, qui sont actionnés et dirigés par le radiologue. Celui-ci s'aide d'images prises durant la procédure. En médecine nucléaire, on étudie surtout le fonctionnement des organes à l'aide de substances radioactives. La recherche a montré que dans les deux cas, le personnel médical est souvent exposé à des doses élevées de radiations.

### Doses élevées, environnements complexes

Douze partenaires européens issus de neuf pays (organismes de recherche, hôpitaux, laboratoires, organismes publics et fabricants) ont collaboré au projet ORAMED (Optimization of RADIation protection of MEDical staff), coordonné par le SCK•CEN. Ils ont développé des méthodologies permettant de mieux définir et de diminuer l'exposition du personnel médical dans le cadre d'applications impliquant l'utilisation de doses de radiations élevées ou, dans des environnements de rayonnement complexes.

Le projet était axé sur quatre thèmes. Le premier problème qui se pose en radiologie interventionnelle est l'utilisation de dosimètres actifs. Ceux-ci mesurent l'exposition en temps réel: durant le traitement, le radiologue est constamment surveillé et reçoit un signal d'alerte si la dose devient trop importante. Les dosimètres actifs disponibles dans les commerces ne conviennent toutefois pas pour mesurer les champs de rayonnement pulsés, typiques de la radiologie interventionnelle. Le projet de recherche a examiné les caractéristiques spécifiques auxquelles un dosimètre actif doit répondre pour pouvoir être

utilisé dans cet environnement clinique. Il en résulte des directives susceptibles d'aider les hôpitaux dans l'achat de dosimètres actifs et dans le développement d'un prototype de dosimètre actif approprié.

### Dosimètre oculaire

Un autre point sensible des procédures radiologiques est la dose de rayonnement absorbée par les yeux. Des études ont démontré l'existence d'un risque accru d'opacification du cristallin (cataracte) chez les radiologues interventionnels, même si les doses de rayonnement restent inférieures à la limite légale autorisée. Actuellement, ces doses ne font pas l'objet de mesures routinières, notamment parce qu'il n'existe aucun dosimètre oculaire adapté. Ce type de dosimètre a été développé dans le cadre d'ORAMED. Les partenaires de recherche ont également formulé des recommandations afin de réduire la dose de rayonnement absorbée par les yeux. Ainsi, des mesures ont révélé que 70 % des radiologues ne portent pas de lunettes au plomb durant l'intervention. Il s'agit pourtant d'une mesure simple qui permettrait justement de limiter la dose de rayonnement.

### Accent sur les mains et les pieds

La peau des mains et des pieds focalise aussi l'attention, dans la radiologie interventionnelle. En effet, ces parties du corps ne sont pas protégées par un tablier de plomb, ce qui peut engendrer des lésions cutanées (érythème). De nouveau, on a cherché à établir des liens entre la méthode de travail du personnel médical et la dose de rayonnement absorbée au niveau des mains et des pieds. Dans le projet, on a formulé des recommandations et développé des modules de formation afin d'aider le personnel à diminuer les doses de rayonnement absorbées par la peau. Tout ce matériel a été diffusé au sein des associations professionnelles.



↑ Dans la radiologie interventionnelle, on utilise également l'imagerie médicale pour réparer des lésions dans le système vasculaire.

La médecine nucléaire a également été abordée dans ORAMED. Durant la préparation des seringues contenant des isotopes, le personnel médical a les mains exposées à une dose trop élevée de rayonnement. La dose absorbée ne se répartit pas uniformément sur les mains. Par le biais de mesures, on a pu localiser le point où le rayonnement atteint son niveau maximal sur les mains. De nouveau, les chercheurs ont rédigé des recommandations permettant de réduire cette dose et de mieux la contrôler. Par exemple, en portant un dosimètre bague sur l'index, tout près du point de la dose de rayonnement maximale.

### À l'intention des utilisateurs

ORAMED n'avait pas seulement pour objectif d'améliorer et de concentrer la recherche sur la radioprotection pour le personnel médical. Le projet s'est aussi beaucoup intéressé à la diffusion des connaissances acquises dans les associations professionnelles et les hôpitaux et, parmi les médecins. Toutes les recommandations ont été publiées sur le site web du projet: [www.oramed-fp7.eu](http://www.oramed-fp7.eu).

“Des mesures ont révélé que 70 % des radiologues ne portent pas de lunettes au plomb durant l'intervention. Il s'agit pourtant d'une mesure simple qui permettrait justement de limiter la dose de rayonnement. ORAMED a fourni un ensemble intéressant de conseils et de recommandations que nous veillons à présent, à diffuser le plus possible dans le secteur.”

**Filip Vanhavere**

## La recherche radiobiologique au top niveau

# Une faible dose de rayonnement comporte-t-elle des risques?

Radiothérapie, radioprotection, médecine nucléaire, etc.: la radio(bio)logie gagne en importance dans le domaine des soins de santé. Le nombre annuel de traitements médicaux par rayonnement ionisant augmente même encore. C'est la raison pour laquelle il est de plus en plus crucial de bien surveiller les effets néfastes d'une exposition à de faibles doses de rayonnement.

La radiobiologie constitue un domaine de recherche grandissant au sein du SCK•CEN. Les points essentiels de cette recherche sont la sensibilité du fœtus au rayonnement et la prédisposition génétique individuelle à la suite d'un rayonnement ionisant. En étudiant les changements survenus au niveau des marqueurs moléculaires à la suite de l'exposition à de faibles doses de rayonnement (gènes, protéines), les radiobiologistes espèrent mieux comprendre ces effets. En 2010, trois projets de recherche remarquables ont été clôturés.

### GENRISK-T

Depuis la catastrophe de Tchernobyl en 1986, des études approfondies ont été effectuées à propos de l'influence du rayonnement ionisant sur le développement du cancer de la thyroïde. Grâce à cette recherche, il est possible de définir avec précision le risque lié à ce type de cancer chez une personne ayant été exposée à une dose importante de radiations ionisantes.

Les effets d'une faible dose de rayonnement (par exemple, à la suite des traitements médicaux ou diagnostics d'imagerie fréquents) sont, en revanche, beaucoup moins connus. On ignore encore aussi dans quelle mesure les facteurs génétiques peuvent accroître le risque de cancer de la thyroïde. Telle était justement la question prioritaire du projet de recherche GENRISK-T (GENetic RISKS to Thyroid cancer related to the Chernobyl accident – risques génétiques de cancer de la thyroïde liés à l'accident de Tchernobyl), qui était l'œuvre d'une collaboration entre le SCK•CEN, le Helmholtz Zentrum München, l'Université libre de Bruxelles et d'autres instituts de recherche français, italiens et polonais.

### DoReMi

Deux groupes de souris de souches ADN différentes ont été irradiés avec une dose différente de rayons X. En étudiant les changements

morphologiques survenus au niveau de la structure cellulaire de la thyroïde et l'expression de certains marqueurs de prolifération, on a tenté de comprendre le développement potentiel du cancer de la thyroïde. Finalement, cette recherche vise un modèle qui décrit le lien entre le cancer de la thyroïde et de faibles doses de rayonnement.

La recherche se poursuit à présent sous l'égide de DoReMi (Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration). Ce «réseau d'excellence» européen, financé par Euratom, stimule la recherche sur les risques de l'exposition à de faibles doses de rayonnement. Il ambitionne également de relancer les formations théoriques et pratiques sur le sujet.

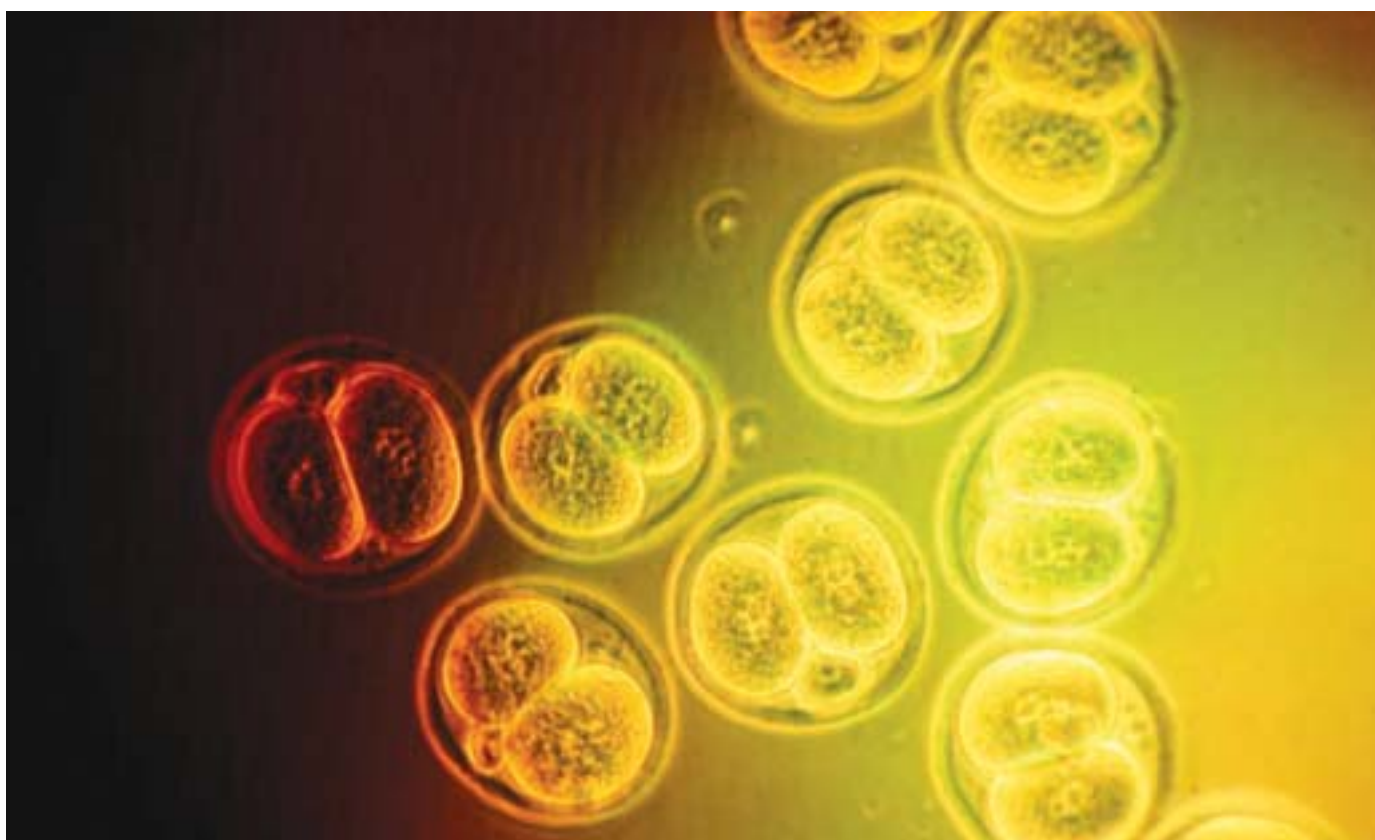
### Défauts de développement

Outre le cancer, les défauts de développement des fœtus sont aussi une question préoccupante dans la radioprotection. On a supposé pendant longtemps que l'irradiation de femmes enceintes durant la première semaine de leur grossesse ne produisait aucun effet ou provoquait la mort de l'embryon. Ce principe du «tout ou rien» a toutefois été contesté au cours de ces dernières années. L'étude de certaines races de souris révèle en effet que l'irradiation d'un embryon au premier stade de la grossesse peut bel et bien entraîner des malformations. Et de l'instabilité au niveau de l'ADN, avec un risque potentiel d'apparition du cancer.

Le SCK•CEN étudie depuis des années les facteurs génétiques susceptibles de déclencher de tels effets. Dans le cadre d'un accord conclu avec l'AFCN, le SCK•CEN a étudié l'influence des mutations du matériel génétique d'embryons de souris sur l'apparition de malformations. Dans le cadre d'un consortium international avec des centres de recherche européens et canadiens, les radiobiologistes du SCK•CEN ont examiné la question de savoir si les défauts du développement des souris, apparus à la suite d'une irradiation, sont transmissibles à la génération suivante.

“Nous sommes étroitement associés à la recherche internationale sur les effets néfastes éventuels de faibles doses de rayonnement sur l’homme. Au cours des prochaines années, nous continuerons à employer notre savoir-faire au développement d’une large base scientifique pour l’exposition au rayonnement et la radioprotection.”

**Sarah Baatout**  
**Paul Jacquet**  
**Hanane Derradji**



↑ Cette culture *in vitro* montre des embryons de souris au stade de deux cellules, 24 h après la fécondation. Ils sont entourés d’une enveloppe, la «zona pellucida», et font un dixième de millimètre de diamètre.

Les deux études suggèrent que le risque de malformations chez les embryons humains, à la suite d’une exposition à de faibles doses de rayons X à un stade précoce de la grossesse, est relativement limité par rapport aux risques spontanés de malformations.

### Développer l’expertise

Grâce à ces recherches, le SCK•CEN contribue au développement d’une large base scientifique concernant l’exposition au rayonnement et la radioprotection. Il étudie le rayonnement à des fins

médicales ainsi que les expositions accidentelles et aux rayons cosmiques. Au cours des prochaines années, le SCK•CEN continuera à développer son expertise dans le champ de la biologie du développement et du cancer, de la radiothérapie et de la radiobiologie pour des applications spatiales, grâce à de nombreux projets de recherche. Dans ce cadre, il examine un large éventail d’effets, tels que les effets des CT-scans sur les jeunes enfants, les effets de faibles doses de rayonnement sur le système cardiovasculaire, et les effets du rayonnement cosmique sur la santé des astronautes.

## Comment le Belge perçoit-il la technologie nucléaire?

# Baromètre de la connaissance et de la perception du risque

Quels que soient les choix futurs, les questions relatives à la sûreté nucléaire, à la radioprotection et à la gestion des déchets seront toujours d'actualité dans la société. C'est pourquoi le SCK•CEN joue délibérément la carte de la recherche sociale sur la perception du risque, du développement durable et de la communication. En 2002, afin de rester bien ancré dans la société, le SCK•CEN a créé le Baromètre: une enquête périodique, de grande envergure, destinée à la population belge, qui traite du rayonnement et de la technologie nucléaire. En 2010, les résultats de la troisième édition ont été communiqués.

Les êtres humains se sentent-ils suffisamment protégés contre les risques du rayonnement radioactif? Dans quelle mesure sont-ils intéressés par la science nucléaire? Note-t-on une différence de comportement entre jeunes et moins jeunes vis-à-vis de l'énergie nucléaire? Autant de questions importantes auxquelles il convient de fournir une réponse claire, afin de mieux informer et impliquer les individus dans le futur et de comprendre comment la population perçoit les risques liés à la technologie nucléaire.

### Généralités et spécificités

Le questionnaire du Baromètre est régulièrement soumis à plus de 1 000 adultes belges, représentatifs de l'ensemble de la population en ce qui concerne le sexe, le domicile, l'âge, le niveau d'urbanisation et la profession. Pour découvrir les tendances qui se dessinent à long terme, chaque édition du Baromètre contient une série récurrente de questions générales. Par exemple: quelle est l'attitude par rapport à l'énergie nucléaire? Par ailleurs, chaque Baromètre est placé sous le signe d'un thème spécifique.

Le premier Baromètre du SCK•CEN traitait de la participation et de l'implication des groupements d'intérêts, en 2002. Afin de permettre des comparaisons, le volet général de cette enquête a brodé sur l'étude de perception des risques de l'IRSN français (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) qui effectuait déjà depuis 1989 ce type d'enquête annuelle. Un deuxième et un troisième questionnaires ont suivi en 2006 et 2009. En 2006, ce questionnaire traitait des conséquences possibles d'une contamination radiologique de la chaîne alimentaire. L'enquête la plus récente, menée en 2009, a sondé les attentes et besoins en communication en cas d'urgence nucléaire.

### Une information plus active

En 2010, les résultats du troisième Baromètre ont été communiqués. Dans l'ensemble, il ressort que les individus sont moins préoccupés qu'avant par les risques potentiels d'un rayonnement radioactif ou d'un accident nucléaire. Ils ont également davantage conscience de la présence de radiations naturelles dans les maisons, provoquées par le radon. Cependant, les connaissances sur la technologie nucléaire et sur les acteurs importants dans le monde nucléaire sont encore insuffisantes. Le Baromètre a également fourni des conclusions remarquables sur la communication. Le belge estime qu'une communication plus claire s'impose, en particulier en ce qui concerne la gestion des déchets et l'exploitation sans risque des installations. En outre, les instances compétentes doivent informer la population de manière plus active en cas d'accident nucléaire, comme à Fleurus en 2008.

### Enquête sociale

La méthode d'enquête du Baromètre s'est affinée au fil des ans. Au début, elle s'appuyait essentiellement sur le questionnaire français existant. Désormais, la contribution personnelle du SCK•CEN est beaucoup plus importante et les analyses statistiques sont aussi plus détaillées. Les scientifiques du SCK•CEN utilisent également les résultats du Baromètre pour perfectionner la méthodologie d'autres enquêtes sociales. L'enquête est remarquable de convivialité pour les personnes interrogées: depuis 2006, tout est rassemblé via la méthode CAPI (Computer Assisted Personal Interviewing). Les participants sont questionnés personnellement à la maison et les données sont automatiquement introduites dans l'ordinateur.

“Via le Baromètre, le SCK•CEN sonde régulièrement les connaissances et la perception du risque de la population belge à propos de la technologie nucléaire. Il est important de procéder à de telles enquêtes pour mieux informer les individus dans le futur, les impliquer davantage dans nos activités et savoir ce que la technologie nucléaire engendre comme conséquences dans la société. La recherche nucléaire n’est donc pas du tout une science positive ‘rigide’”

**Catrinel Turcanu  
Tanja Perko**

## Recherche sociale au SCK•CEN

Le programme PISA (Programme of Integration of Social Aspects into Nuclear Research – programme d’intégration des aspects sociaux dans la recherche nucléaire) est en cours depuis 1998 au SCK•CEN. Il étudie les implications sociales, politiques et éthiques de la recherche nucléaire et l’influence de la science nucléaire sur la société. Sous l’impulsion de PISA, le SCK•CEN stimule aussi la réflexion critique sur la technologie nucléaire au sein de l’organisation interne. Ainsi, la culture de sûreté a continué de se déve-

opper comme sujet important au sein de l’organisation.

En 2010, PISA a été intégré dans l’unité Études de la Science et de la Technologie nucléaires (Etudes de la Science et de la Technologie nucléaire). À l’aide d’études qualitatives et quantitatives, telles que les sondages d’opinion et l’analyse multicritère, cette unité s’occupe au sein du SCK•CEN du pilier social de la recherche nucléaire.



↑ Le questionnaire du Baromètre est régulièrement soumis à plus de 1 000 adultes belges représentatifs de la population totale.

## Solution à long terme pour les déchets belges de catégorie A

# Le SCK•CEN fournit un input scientifique pour l'installation de dépôt en surface de Dessel

La production d'énergie nucléaire dans l'industrie, la médecine et la recherche, engendre des déchets de faible et de moyenne activité. Les déchets que l'on nomme déchets de catégorie A peuvent être stockés en surface sans que cela comporte – aujourd'hui ou dans un lointain futur – des risques pour la santé publique. L'ONDRAF, l'Organisme National des Déchets Radioactifs et matières Fissiles enrichies, prépare à Dessel la construction d'une installation de dépôt en surface: une solution à long terme pour les déchets belges de catégorie A. Le SCK•CEN collabore intensivement à la documentation scientifique du dossier sécurité de cette installation.

En 2006, l'ONDRAF a entamé l'élaboration du projet cAt: le projet intégré de dépôt en surface des déchets à vie courte de faible et de moyenne activité à Dessel. Pour pouvoir commencer la construction et l'exploitation de l'installation de dépôt, l'ONDRAF doit d'abord introduire une demande d'autorisation nucléaire auprès de l'AFCN. Dans le cadre de cette demande de licence, qui sera lancée en 2011, l'ONDRAF prépare un dossier de sûreté.

### Études de sûreté

Plusieurs instituts de recherche, bureaux d'ingénierie et d'étude réputés belges et étrangers collaborent à la documentation technique et scientifique de ce dossier. Les études entamées examinent jusque dans les moindres détails les diverses facettes de la sûreté. Elles doivent démontrer que l'installation de dépôt offre une solution à long terme suffisamment sûre et durable pour le dépôt des déchets de catégorie A.

Les études du SCK•CEN sont axées sur le comportement, le dégagement potentiel et la propagation de radio-isotopes. Elles calculent, à l'aide de modèles, le dégagement éventuel de quantités minimales de radio-isotopes de l'installation de dépôt jusqu'au sol, la nappe phréatique et la biosphère (l'homme et l'environnement) sur une période de plusieurs centaines, voire milliers d'années.

### Nappe phréatique

Le sous-sol de Dessel a été cartographié jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur et les données ont été minutieusement

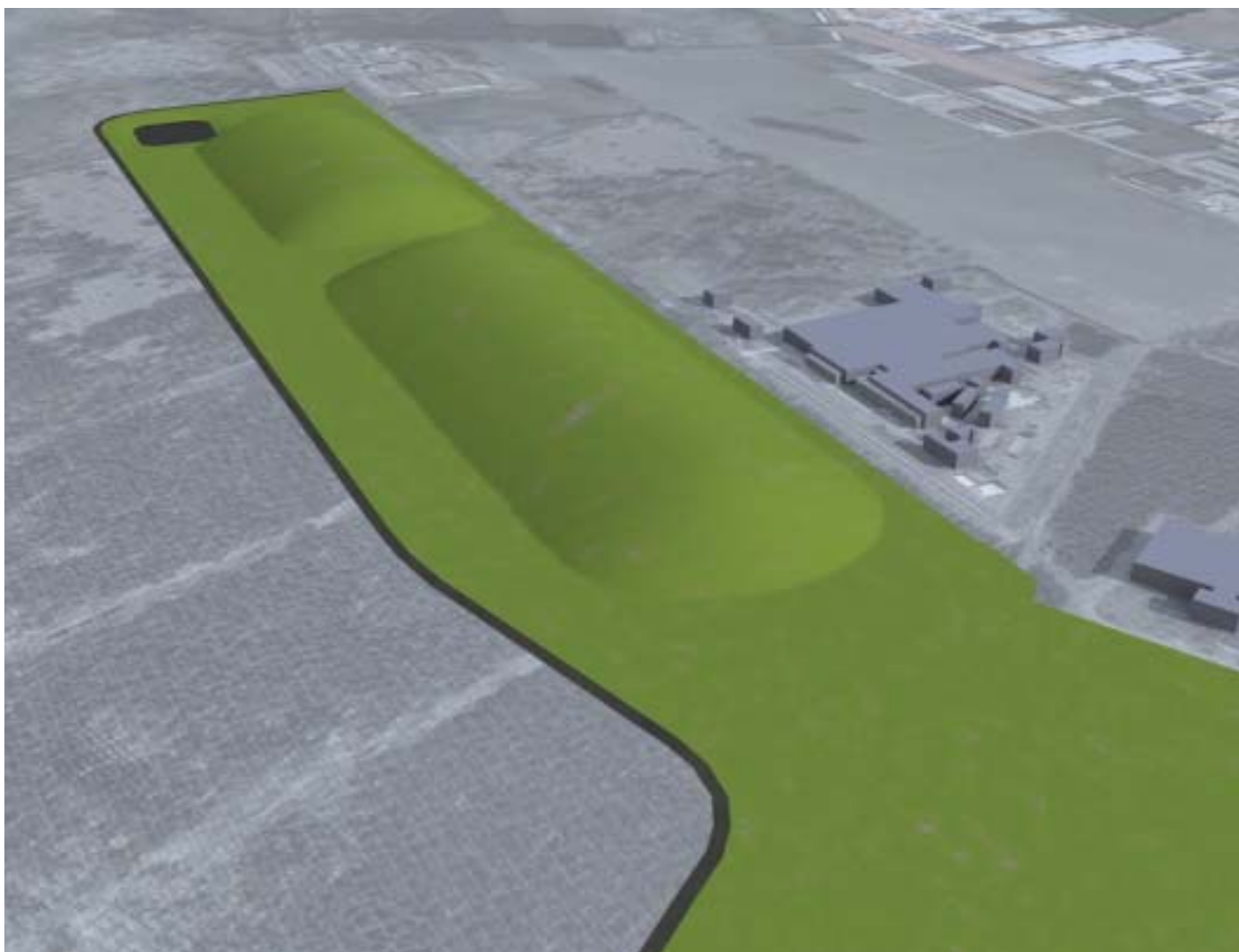
intégrées dans des modèles hydrogéologiques de circulation d'eau profonde et de transport isotopique. Grâce à plus de vingt années de mesures de l'eau souterraine dans la région Mol-Dessel et bien au-delà, les modèles de circulation d'eau profonde peuvent être homologués. Ces modèles constituent la base des calculs du transport isotopique dans la nappe phréatique. Il s'agit d'un maillon essentiel pour les études biosphériques.

Grâce aux études biosphériques, le SCK•CEN a pu définir l'impact de la radioactivité sur les organismes vivants. Ces études doivent établir que l'homme et les écosystèmes sont bien protégés durant l'exploitation de l'installation de dépôt et ultérieurement aussi.

### Le béton, matériau-clé

Le principe du dépôt en surface est le suivant: les déchets radioactifs sont enfermés et isolés jusqu'à ce que leur nocivité soit diminuée et ramenée à un niveau acceptable. De cette manière, les déchets ne constituent pas un risque pour l'homme et l'environnement, même à long terme. Le béton joue un rôle important dans ce concept.

Le SCK•CEN est associé aux études qui analysent la capacité du béton à rester imperméable à l'eau pendant une longue période. Le béton est aussi un matériau de confinement idéal, parce qu'il a la capacité d'adsorber les radio-isotopes. Avec l'aide de plusieurs experts internationaux, le SCK•CEN a déterminé la capacité d'absorption du béton pour un nombre important de radio-isotopes. Étant donné que ce matériau subit des changements physiques et



↑ Les modules de dépôt en surface emprisonnent les déchets de catégorie A jusqu'à ce que leur nocivité ait suffisamment baissé.

chimiques, on a développé un modèle qui simule l'absorption du béton comme un processus dynamique.

## La couverture d'essai

Afin d'entériner les choix de conception et les modèles de calcul du dépôt, l'ONDRAF met sur pied des dispositifs d'essai. Le SCK•CEN a contribué à la conception de la couverture d'essai, dans laquelle on imitera le comportement des différentes couches naturelles dans la couverture finale. Les chercheurs assureront la surveillance des matériaux et processus dans la couverture d'essai sur le long terme. Ces mesures fourniront des données essentielles pour le perfectionnement et la validation des modèles informatiques du SCK•CEN.

“De nombreux instituts de recherche, bureaux d'étude et d'ingénierie réputés belges et étrangers collaborent à la documentation technico-scientifique de ce dossier de sûreté. Nous examinons le comportement et la propagation des radioisotopes depuis l'installation de dépôt jusqu'au sol, à la nappe phréatique, à la chaîne alimentaire et à l'écosystème.”

**Dirk Mallants**

## Intérêt de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique

# Nouveau système d'alerte à la prolifération nucléaire

Afin d'éviter la prolifération nucléaire, il est nécessaire de gérer les combustibles et autres matériaux stratégiques de manière responsable. La non-prolifération vise à combattre la propagation incontrôlée des matières nucléaires. Le SCK•CEN développe un système d'alerte nucléaire innovant, basé sur des indicateurs politiques et économiques. Un tel système doit permettre de détecter à un stade précoce, le développement d'un programme nucléaire.

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) contrôle, dans le cadre d'accords internationaux – dont le traité de non-prolifération – l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire dans plus de 170 pays. En inspectant régulièrement les installations nucléaires, en examinant les comptabilités nucléaires, en utilisant des images transmises par satellite, ... Bref, en effectuant toute une série de contrôles techniques, appelés aussi «safeguards».

### Des technologies de mesure de qualité

Le système actuel de safeguards examine si les matériaux nucléaires sensibles sont utilisés à des fins pacifiques. Afin d'empêcher que le matériau nucléaire ne soit utilisé dans des applications militaires, l'AIEA vérifie régulièrement les installations nucléaires et les signataires du traité sont obligés de signaler tout changement en temps opportun. Le SCK•CEN est étroitement associé à ces inspections de safeguards. Avec d'autres instituts de recherche, il apporte un soutien technique à l'agence. Cette expertise aboutit à des technologies de mesure de qualité qui permettent aux inspecteurs d'effectuer leur travail plus rapidement et plus efficacement.

### Détection proactive

Les inspections traditionnelles présentent toutefois l'inconvénient que les États membres doivent déclarer eux-mêmes une partie de leur matériel nucléaire. Il arrive souvent que l'AIEA ne détecte la prolifération nucléaire que lorsque le développement d'une arme nucléaire est déjà lancé. En outre, la frontière entre un programme



↑ Le détecteur FORK, développé par le SCK•CEN, mis en œuvre dans le cadre de «safeguards» pour la caractérisation des matières fissiles utilisées.

“Le résultat de notre étude est un modèle indicatif qui permet de détecter la prolifération nucléaire à un stade précoce. La méthodologie peut représenter un complément intéressant aux inspections techniques de l’IAEA.”

**Steven Smet**  
**Klaas van der Meer**

nucléaire pacifique et un programme militaire parallèle est parfois mince. Ainsi, par le passé, on a constaté plusieurs fois que des Etats proliférateurs étaient passés maîtres dans l’art d’élaborer secrètement des programmes d’armes atomiques.

Une autre possibilité est d’examiner la prolifération nucléaire du point de vue de la demande. Cette vision, influencée davantage par la politique que par la technologie, place les motifs nationaux – pourquoi une nation veut détenir l’arme atomique – et les processus décisionnels nécessaires pour développer une arme nucléaire, au cœur des priorités. Selon cette vision, la prolifération nucléaire s’opère lorsqu’un Etat prend la décision explicite d’acquérir une arme nucléaire et ce, par un programme nucléaire, l’achat ou le vol d’une arme nucléaire. Ici, l’accent est mis non seulement sur la décision proprement dite (pourquoi un Etat prend une décision aussi radicale), mais aussi sur la manière dont l’Etat structure le processus d’armement. Le grand avantage de cette approche réside dans le fait que l’on peut détecter un certain nombre d’indicateurs à un stade très précoce, bien avant que l’IAEA puisse constater objectivement un abus. Et c’est justement durant cette étape qu’on peut encore convaincre un pays d’abandonner un programme nucléaire.

## Nouveaux indicateurs

La question qui se pose est de savoir quels facteurs influencent le processus décisionnel dans le cas de la prolifération nucléaire

et comment un tel processus se déroule. En collaboration avec l’Université d’Anvers, le SCK•CEN a répertorié, sous l’œil attentif de l’IAEA, une trentaine d’indicateurs: situation de sûreté régionale, alliance avec un Etat détenteur de l’arme nucléaire, type de régime, perception de la sûreté, situation géopolitique, disponibilité de la matière fissile, technologie, dépendance à l’importation, etc. Ces indicateurs montrent pourquoi un pays veut ET peut ou non développer un programme d’armement nucléaire. Les partenaires de recherche ont également examiné la question de savoir quels seuils différents il convient de surmonter dans ce type de processus: la situation financière, le niveau de l’industrie et de la science, convaincre les adversaires, ...

## Intérêt de l’IAEA

Sur base des indicateurs, on compare la situation dans une soixantaine de pays. Cette comparaison permet de voir quels indicateurs correspondent le plus aux pays qui ont lancé un programme d’armement nucléaire par le passé. Le résultat est un modèle indicatif qui permet de détecter la prolifération nucléaire à un stade (plus) précoce. Ce modèle peut servir de base à l’élaboration de ce que l’on appelle un «indication & warning framework», c’est-à-dire une structure d’indication et d’alerte, complémentaire aux inspections de safeguards techniques de l’IAEA. Le nouveau système de prévention du SCK•CEN peut, par exemple, contribuer à déterminer quels pays devront être contrôlés de façon plus régulière et plus stricte dans le futur.



## 4. Partage des connaissances et de l'expertise

Le SCK•CEN est un centre de recherche au rayonnement international. Mettre plus facilement les connaissances à disposition, diffuser le savoir-faire dans le domaine nucléaire, partager l'expertise et la transmettre aux générations suivantes, tant au sein qu'en dehors de l'organisation: tout cela va de soi pour le SCK•CEN.

Alexandria: vers une gestion des documents centralisée et efficace

## Des processus industriels plus efficaces

Les connaissances du personnel constituent le capital du SCK•CEN. La quantité d'informations qui circule dans le centre de recherche est énorme. Il est donc essentiel de centraliser la gestion de tous les documents afin de gérer, partager et dévoiler efficacement l'expertise écrite. Depuis 2009, le SCK•CEN œuvre à un système de gestion des documents, intitulé Alexandria. Le premier test conceptuel a été clôturé en 2010.

L'objectif d'Alexandria est d'améliorer les processus industriels du SCK•CEN, d'individualiser l'accessibilité des informations via une plateforme conviviale et de gérer les informations durant l'entièreté de son cycle de vie.



### Gestion intelligente des informations

Via une plateforme centrale, les travailleurs du SCK•CEN peuvent vérifier en un coup d'œil qui participe à un projet. Ils peuvent relire des résumés, chercher et consulter des documents (via la recherche en texte intégral et les métadonnées), poster eux-mêmes des documents, organiser des réunions, etc. Ce système de gestion intelligente des documents devient au fil des jours de plus en plus indispensable pour chaque entreprise. Pour un centre de recherche nucléaire tel que le SCK•CEN, cette nécessité est encore plus marquée, car les projets s'étendent souvent sur plusieurs années, voire plusieurs décennies. Dans ce cas, un transfert efficace de données entre collègues-chercheurs et entre plusieurs générations d'experts revêt une importance stratégique.

“Le transfert efficace des informations entre les collègues-chercheurs et entre plusieurs générations d'experts revêt une importance stratégique pour un centre de recherche nucléaire tel que le SCK•CEN.”

**Danielle Couvreur**

### MYRRHA, test de démonstration

En 2009, une étude préparatoire a permis de répertorier les différents types de documents et les processus correspondants. Pour le premier des dix environnements définis, le management de projet, la phase du test conceptuel s'est clôturée avec succès en 2010. La faisabilité technique et la convivialité ont joué un rôle essentiel à cet égard. On a opté pour MYRRHA, en guise de test de démonstration (test case). Il s'agit en effet d'un projet d'envergure qui comprend plusieurs sous-projets et une quantité innombrable de processus, bref un environnement complexe pour la gestion des documents.

Le système semblait répondre aux conditions nécessaires dans l'environnement testé. Le test conceptuel constitue la base de l'expansion ultérieure du système de gestion à travers l'organisation. D'ici cinq ans, Alexandria doit être opérationnel pour l'ensemble du SCK•CEN.

### Gestion des compétences

En 2010, le SCK•CEN a également entamé la mise sur pied d'un centre de compétences. Ce centre a pour but de mieux définir les compétences au sein du SCK•CEN et doit devenir un outil important pour la sélection, la formation et l'évaluation des collaborateurs. Le centre de compétences doit dès lors devenir un atout important tant pour le personnel que pour l'organisation. En 2010, l'accent était mis sur les compétences comportementales. En 2012, le SCK•CEN définira les compétences techniques.

## Formations nucléaires dans une perspective internationale

# SCK•CEN, éminemment présent dans les grands projets européens de collaboration

Dans toutes les applications de la radioactivité, dans le domaine nucléaire mais aussi en médecine par exemple, la connaissance et la compétence des hommes est l'un des piliers les plus importants. Leur expertise doit pouvoir se développer davantage pour les générations futures. C'est pourquoi l'Union européenne mène une politique active sur le plan de l'éducation et de la formation nucléaire. Le SCK•CEN y participe.



↑ Formation permettant de faire face et de répondre adéquatement aux situations d'urgence nucléaire ou radiologique.

### Au-delà des frontières

Le SCK•CEN accorde énormément d'importance à la formation de ses collaborateurs. Le Centre regarde résolument au-delà de ses frontières et contribue au développement de programmes de formation pour les externes en Belgique et au niveau européen.

Ainsi, le SCK•CEN participe à différents projets européens dans le cadre du septième programme-cadre et contribue à l'échange international de l'expertise de formation. Dans le projet ENETRAP II (European Network for Education and Training in Radiation Protection), le SCK•CEN joue un rôle moteur en tant que coordinateur. Dans d'autres projets, il est un partenaire actif.



## Une place de choix en tant que partenaire international

Il est étonnant de constater que, tandis que l'utilisation du rayonnement ionisant ne cesse de gagner en importance, le nombre d'experts dans la radioprotection diminue. L'expertise nécessaire pour utiliser des radiations ionisantes en toute sécurité et développer à l'avenir de nouvelles technologies, est pourtant essentielle. En échangeant de bons exemples et en améliorant les formations européennes concernant la radioprotection, douze partenaires européens veulent notamment standardiser, dans le cadre du projet ENETRAP II, la formation d'un RPO (Radiation Protection Officer) et d'un RPE (Radiation Protection Expert). L'introduction d'un passeport formation pour la radioprotection – comme moyen permettant de reconnaître les formations partout en Europe – est sur la table. Le SCK•CEN propose depuis des années des formations (et des infrastructures de formation) sur la radioprotection. Le centre de recherche est donc très bien placé pour coordonner le projet ENETRAP II.

Dans TRASNUSAFE (TRAIning Schemes on NUclear SAFETY culture), le cadre d'étude est plus large. L'objectif: mettre au point la culture de sûreté dans les secteurs nucléaires et médicaux. Les chercheurs dressent l'éventail des besoins d'exploitants de grandes installations nucléaires et du personnel dirigeant des départements hospitaliers radiothérapeutiques et développent des cursus répondant mieux à leurs souhaits. TRASNUSAFE a démarré fin 2010 et est prévu pour quatre ans. Le SCK•CEN participe notamment au premier volet de l'enquête: l'analyse des besoins. Le groupe PISA (Programme of Integration of Social Aspects in nuclear research) prodigue des conseils et organise dans ce cadre, des groupes de réflexion qui nécessiteront une base transdisciplinaire pour la formation en radioprotection et en sûreté nucléaire.

Via le projet ENEN-III (Training Scheme on Nuclear Engineering), de jeunes professionnels sont préparés à affronter de nouveaux défis technologiques et nucléaires. Via séminaires, ateliers, cours, échanges entre organisations et coaching personnel, la jeune garde acquiert les compétences et connaissances nécessaires dans son profil professionnel spécifique, c'est le cas par exemple des ingénieurs en conception pour les futurs réacteurs GEN IV. Un passeport de formation attestant des nouvelles compétences acquises, constitue ici aussi un objectif. Un tel passeport offre aux travailleurs une mobilité professionnelle à travers toute l'Europe et aux employeurs

un pool international de recrutement. Dans les projets ECNET (Eu-China Nuclear Education and Training cooperation) et ENEN-RUSSIA, l'Union européenne examine quels sont les avantages à collaborer respectivement avec la Chine et la Russie, sur le plan de la formation. Les partenaires évaluent les besoins, les opportunités sont prises en compte et une feuille de route est élaborée.

En dehors du septième programme-cadre, le SCK•CEN met aussi sur pied des programmes académiques internationaux. C'est ainsi qu'en 2010, une Lettre d'Intention a été signée avec l'université de Pise.

“Le SCK•CEN fait partie d'un réseau de centres de connaissances et d'instituts de recherche répartis aux quatre coins de l'Europe, et même au-delà. Que nous disposions d'autant d'expertise, fait de nous un partenaire apprécié dans beaucoup de projets de formation internationaux.”

**Michèle Coeck**

## Transfert de connaissances à la nouvelle génération: les jeunes explorent le SCK•CEN

L'un des piliers dans les activités de formation du SCK•CEN est l'accompagnement des étudiants. À cet effet, le Centre met ses installations et ses scientifiques à disposition afin d'assurer l'encadrement des étudiants en Master et Bachelor ainsi que les doctorants. Mais les étudiants en dernière année du secondaire sont aussi les bienvenus!

### Visites scolaires sur mesure

Le SCK•CEN offre la possibilité aux étudiants en dernière année de l'enseignement secondaire général et technique – filière scientifique – de visiter le SCK•CEN. En 2010, nous avons reçu 129 jeunes qui ont pu rencontrer nos chercheurs, découvrir leurs labos et se familiariser avec leurs travaux de recherche. La classe peut opter pour une visite guidée.

Pour l'heure, trois thèmes ont été développés:

**Technologie des réacteurs:** durant cette visite, les étudiants sont initiés au fonctionnement d'un réacteur. Les différentes étapes historiques du développement de la technologie nucléaire sont expliquées et la visite se termine par un regard sur le futur: le développement des réacteurs GEN IV.

**Déchets radioactifs:** l'un des grands défis du futur est mis en lumière. Les étudiants visitent le laboratoire souterrain HADES et collectent des informations sur les recherches effectuées par le SCK•CEN dans le cadre du dépôt des déchets radioactifs et de la politique des déchets.

**Recherche spatiale:** l'homme séjourne de plus en plus fréquemment dans l'espace. Le SCK•CEN joue un rôle important dans la recherche spatiale en matière de microbiologie, de biologie humaine et de dosimétrie du rayonnement. Quel est l'impact auprès des humains, des bactéries et des plantes, du rayonnement cosmique combiné à l'apesanteur? Ces études sont effectuées en collaboration avec des partenaires internationaux. En collaboration avec l'Agence Spatiale Européenne ESA, le SCK•CEN développe notamment des systèmes biologiques de purification de l'eau et de recyclage des déchets en oxygène et en nourriture pour les longues missions spatiales. Dans les labos, les jeunes peuvent s'ils le souhaitent, confronter la théorie à la pratique.

Le fait que ces initiations aient été jusqu'à présent évaluées comme «visites de classe», nous encourage à persévérer.

# Aperçu général

## Service interne de Prévention et de Protection au Travail

**Le SCK•CEN est, selon la loi sur le bien-être, une entreprise de classe A . De ce fait, elle a l'obligation de disposer d'un Service interne de Prévention et de Protection au Travail (SIPPT). Ses tâches principales sont la sécurité, l'hygiène au travail, l'ergonomie, le suivi médical, l'impact sur l'environnement, les facteurs socio-psychologiques et le harcèlement au travail. Par ailleurs, le SCK•CEN est aussi une entreprise de classe 1 d'après la loi RGPRI (Règlement Général de la Protection contre les Rayonnements Ionisants) relative à la protection contre les dangers du rayonnement ionisant. C'est la raison pour laquelle un service de contrôle physique est intégré dans le SIPPT. Ce service surveille l'utilisation d'appareils, d'installations et de produits provoquant des rayonnements ionisants ou contenant des sources ionisantes.**

## Appréciation de l'expert

Afin de garantir la protection du personnel, de la population et de l'environnement, mais aussi d'assurer le bon fonctionnement des installations à long terme, une exploitation sécurisée des installations nucléaires est capitale. Dans le cadre de ses obligations légales, le SIPPT évalue la sûreté des installations. Ainsi, le service fournit son appréciation en tant qu'expert lorsque de nouvelles expériences sont mises en place ou que de nouvelles installations sont mises en service au sein du SCK•CEN. Le SIPPT surveille aussi la sécurité des travailleurs (internes et externes) et leur impact éventuel sur l'environnement. Bel V, l'organisme de contrôle de l'AFCN, veille au bon fonctionnement du service de contrôle physique.

## Évaluations périodiques de la sûreté

Le SCK•CEN s'efforce constamment de trouver des améliorations permettant d'augmenter davantage



le niveau de sûreté. En outre, le SCK•CEN a l'obligation d'effectuer tous les dix ans une évaluation globale de la sûreté dans le cadre de sa licence nucléaire. La dernière Evaluation Périodique de la Sûreté (EPS) date de 2006, la prochaine est prévue en 2016. En 2010, le SCK•CEN a publié une mise au point sur les évaluations de sûreté pour chaque installation du SCK•CEN. Dans le cadre de l'EPS, le SIPPT a étudié pour BR1 les conséquences possibles d'un tremblement de terre et d'une coupure totale de courant et a proposé des améliorations là où elles s'avéraient indispensables.

Pour le BR2, le SIPPT a notamment effectué une réévaluation approfondie de la boucle à haute pression CALLISTO. Il a examiné le circuit primaire dans son intégralité et a contrôlé les propriétés mécaniques de la cuve du réacteur.

En 2009, le SIPPT a acquis un nouveau véhicule d'intervention. Ce véhicule est entièrement équipé pour effectuer des mesures radiologiques sur le terrain et peut aussi être loué.

### **Éducation et formation**

Le SIPPT met à disposition sa large expertise en matière de sûreté, tant au sein du SCK•CEN qu'à l'extérieur. La formation continue du personnel sur le plan de la radioprotection, de la législation et de la culture de sûreté, fait partie de ses tâches. Le SIPPT est aussi activement impliqué dans les formations académiques et les cours pratiques organisés par le SCK•CEN. En collaboration avec les instances nationales et internationales, le SIPPT joue un rôle essentiel grâce à son savoir-faire.

L'ensemble des évaluations et des améliorations permet de maintenir la sûreté des installations à niveau. Ce faisant, on garantit une exploitation sûre et les travailleurs, la population et l'environnement sont à l'abri des risques de rayonnement ionisant.

**Le dossier relatif à la sûreté nucléaire des installations du SCK•CEN est consultable sur [www.fanc.fgov.be](http://www.fanc.fgov.be)**

## **La rénovation des bâtiments du SCK•CEN se déroule comme prévu**

Les bâtiments du site du SCK•CEN à Mol datent des années 1950 et 1960. Ces dernières années, des phénomènes liés à la vétusté se sont manifestés çà et là. C'est pourquoi, en 2008, le SCK•CEN s'est lancé dans un projet d'envergure: un programme de rénovation d'une durée de 10 ans, incluant aussi l'alimentation électrique et les installations de chauffage. Après avoir été rénovés, les bâtiments seront adaptés aux exigences modernes pour une durée minimale de vingt ans et ce, tant sur le plan énergétique que de la sécurité incendie et de l'isolation. Les plans de rénovation prennent en compte la spécificité des bâtiments du SCK•CEN. En effet, ceux-ci ont depuis longtemps acquis une place dans le patrimoine industriel de la région. Vingt millions d'euros ont été affectés à ce programme.

La rénovation du site du SCK•CEN est abordée de façon systématique, bâtiment par bâtiment. En 2010, les travaux de rénovation de l'atelier principal et des sanitaires de la partie administrative du BR2 ont été achevés. Les travaux du bâtiment BR1, rénovation des ailes gauche et droite et du toit, seront terminés fin 2011. C'est à ce moment que l'on entamera la rénovation du bâtiment GKD qui devrait durer trois ans. Plusieurs autres bâtiments seront également rénovés plus tard. Les rénovations devraient être terminées d'ici 2020. Outre les bâtiments, le quartier résidentiel, les tours de refroidissement et la gestion des eaux usées pour les déchets nucléaires entre le LHMA et Belgoprocess feront eux aussi l'objet de travaux de rénovation.

La rénovation n'est possible que si le bâtiment est (partiellement) vidé et évacué. Pour que le personnel puisse disposer d'un poste de travail durant les travaux, des «hob units» ont été aménagés à côté du bâtiment Technologie. Ces espaces de travail temporaires complètement équipés, sont en cours

d'utilisation depuis 2010. Ils couvrent une superficie de 900 m<sup>2</sup> et peuvent accueillir 60 personnes.

### La Gestion des Ressources Humaines cherche et trouve de nouveaux collaborateurs pour le projet MYRRHA

En 2010, le SCK•CEN a bénéficié du soutien du gouvernement fédéral pour le projet MYRRHA. L'année dernière – afin de faire aboutir la première phase du projet (fin 2014) – le SCK•CEN s'est mis à la recherche d'une trentaine de collaborateurs fixes et temporaires. Cette recherche concernait aussi bien des candidats docteurs que des titulaires de masters en sciences de l'ingénierie, en sciences de la bioingénierie et en sciences industrielles, versés dans des branches telles que les sciences nucléaires, la physique des matériaux, l'électromécanique, l'électricité, l'électronique, la chimie et l'informatique.

Pour le HRM, le défi était de taille: les hauts niveaux de formation sont un bien rare sur le marché belge du travail. HRM a donc utilisé plusieurs canaux de recrutement. On a bien entendu également cherché des candidats au-delà de nos frontières. En 2010, le projet MYRRHA a déjà pu accueillir 13 nouveaux collaborateurs. En 2011, 11 autres devraient entrer en fonction. Par le biais d'un marché public, cinq collaborateurs ont été recrutés via un bureau d'étude. Il reste encore quelques postes à pourvoir dans le cadre de ce projet.

Cela peut surprendre et pourtant ce n'est pas un hasard si le projet MYRRHA suscite autant d'intérêt auprès des candidats étrangers. Cela signifie que les collaborateurs du SCK•CEN peuvent provenir de France, des Pays-Bas, d'Afrique du Sud, de Chine et de Corée du Sud. L'équipe MYRRHA

n'est donc pas seulement multidisciplinaire, elle est aussi multiculturelle. Ces nouveaux collaborateurs sont répartis dans les quatre instituts du SCK•CEN. Le projet MYRRHA a également conduit à une révision de l'organisation de l'Institut Systèmes nucléaires avancés.

Il va de soi que le recrutement se poursuit également pour d'autres projets et pour le remplacement de collaborateurs qui quittent le Centre.

### Résumé du bilan social 2010

Nombre de travailleurs au 31/12/2010

	<i>Plein temps</i>	<i>Temps partiel</i>	<i>Équivalent plein temps</i>
Total	581	72	626,9
Contrat à durée indéterminée	549	71	594,5
Hommes	466	42	491,7
Femmes	115	30	135,2
Nombre de travailleurs entrés en fonction	81		81,0
Nombre de travailleurs ayant quitté leur fonction	65	8	69,2
Nombre moyen de travailleurs	570	76	618,0

## Le SCK•CEN encore plus performant, grâce à SAP

Depuis 2009, le SCK•CEN a introduit un système SAP (Systèmes, Applications et Produits de traitement des données) afin d'améliorer ses processus d'entreprise. SAP est un système intégré d'information et d'exploitation où tous les processus à usage industriel sont définis et gérés. En 2010, le développement de SAP s'est poursuivi au sein de l'organisation. Le SCK•CEN continuera ses efforts dans cette voie afin de maximaliser la valeur ajoutée du système.

## CRM: la base d'une gestion centralisée des contacts

Le suivi centralisé et rigoureux des contacts avec le monde extérieur (partenaires, clients, parties prenantes, etc.) constitue un élément important de la «business intelligence» d'un organisme de recherche tel que le SCK•CEN. En étroite collaboration avec un partenaire externe et notre service TIC (Technologies de l'Information & de la Communication) interne, nous avons dressé début 2010, l'éventail de nos besoins et avons opté pour la solution logicielle Microsoft Dynamics CRM. En 2011, ce progiciel CRM sera opérationnel au sein du SCK•CEN.

## La communication au SCK•CEN: systématique et variée

Au fil des ans, les chercheurs et services auxiliaires du SCK•CEN ont effectué une foule d'études et d'analyses et développé des projets innovants. Le savoir accumulé englobe une quantité infinie d'informations. Une partie substantielle offre des solutions à des thèmes scientifiques pertinents sur le plan social. Le SCK•CEN se fixe comme objectif de diffuser ces informations par le biais de la formation et de la communication.

La communication sur les recherches effectuées au SCK•CEN est systématique et variée. Ainsi, le début de l'année 2010 a été placé sous le signe du lancement officiel du projet GUINEVERE, en présence de près de 200 invités et membres du personnel. GUINEVERE est un pas en avant dans le développement de MYRRHA; le premier système au monde de démonstration d'un réacteur commandé par un accélérateur de particules.

### Topical days

Quatre fois par an, le SCK•CEN organise des journées thématiques ou «topical days» (TD). Il s'agit de réunions scientifiques au cours desquelles les chercheurs ou conférenciers invités expliquent leurs recherches aux collaborateurs du Centre et participants externes. En 2010, le SCK•CEN a organisé des topical days sur les thèmes suivants:

- Effets du rayonnement sur l'instrumentation: des composants aux systèmes
- Réacteurs de la Génération III
- Bioinformatique: from base to byte and back
- 35 ans de recherche en fusion au SCK•CEN

En collaboration avec l'Institut national des Radioéléments (IRE) et l'association internationale «European Isotopes Transport Association» (EITA), le SCK•CEN a également organisé un symposium sur les radio-isotopes médicaux et sur le rôle que MYRRHA jouera dans ce cadre. Ce symposium a attiré au SCK•CEN plus de 120 participants originaires du monde entier.

Pour obtenir des informations détaillées:  
<http://www.sckcen.be/fr/Evenements>.

### Pour le grand public

Outre ces événements, souvent destinés à un public choisi, le SCK•CEN s'efforce aussi de montrer à un public plus large qui il est et ce qu'il fait. Cela n'est toutefois pas évident, en tant qu'institut de recherche et site nucléaire. En 2010, le SCK•CEN a accueilli 1 976 visiteurs. Par ailleurs, il organise environ tous les cinq ans une série de journées portes ouvertes. Les brochures et dépliants consultables sur le site Web constituent une source d'information supplémentaire, destinée au grand public.

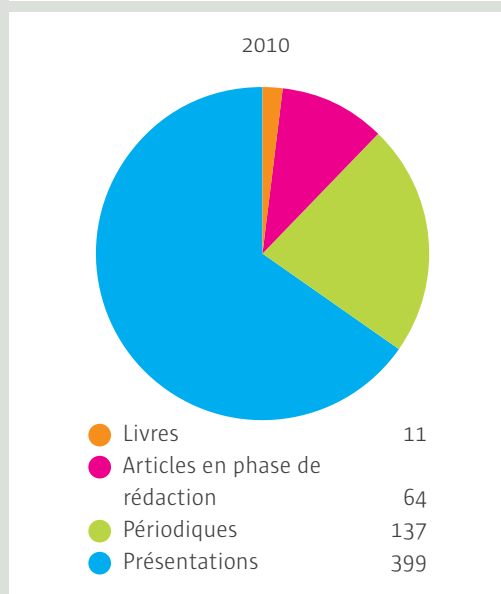
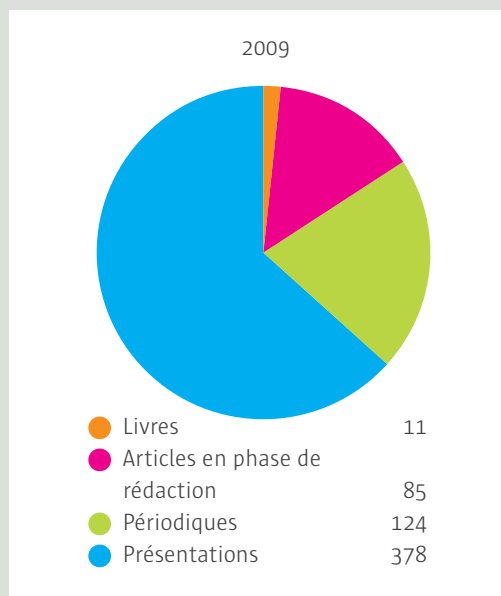
### Le SCK•CEN dans les médias

Les médias font partie intégrante de la société. Sur l'autoroute de l'information, la vitesse à laquelle les informations circulent ne cesse de croître. C'est pourquoi, en 2010, le SCK•CEN a fourni de gros efforts en matière de transmission de l'information, en veillant à utiliser les bons termes et les images adaptées et en entretenant d'étroits contacts avec les médias. Le SCK•CEN a transmis plusieurs communiqués de presse, a répondu à plusieurs demandes d'interviews et a organisé une série de conférences de presse ainsi qu'une journée de contact avec les médias. En outre, plusieurs collaborateurs ont suivi une formation appropriée aux médias.

### La communication interne: indispensable

La communication avec le monde extérieur est essentielle mais le SCK•CEN n'oublie bien entendu pas non plus les membres de son personnel. L'organisation de «lunchtalks» mensuels permet aux collaborateurs du SCK•CEN de mieux comprendre les différents domaines de recherche. Les bâtiments étant disséminés sur le site technique, les lunchtalks sont aussi l'occasion pour eux de se rencontrer et d'apprendre à se connaître. En 2010, un «meet and greet» a été organisé avec les collègues de l'Institut Environnement, Santé et Sécurité. Il s'agit de l'un des quatre instituts qui a vu le jour suite à une réorganisation profonde en 2006. Les collaborateurs de l'institut ont présenté leur travail.

Bref, le transfert des connaissances aux générations actuelles et futures, tant internes qu'externes, figure en tête des priorités du SCK•CEN qui continuera de s'atteler à une politique d'information qualitative.



## Output scientifique

Dans un centre de recherche tel que le SCK•CEN, l'output scientifique joue un rôle important. Afin de partager les résultats de la recherche nucléaire avec d'autres scientifiques, de gérer les connaissances, de conserver les documents de la re-

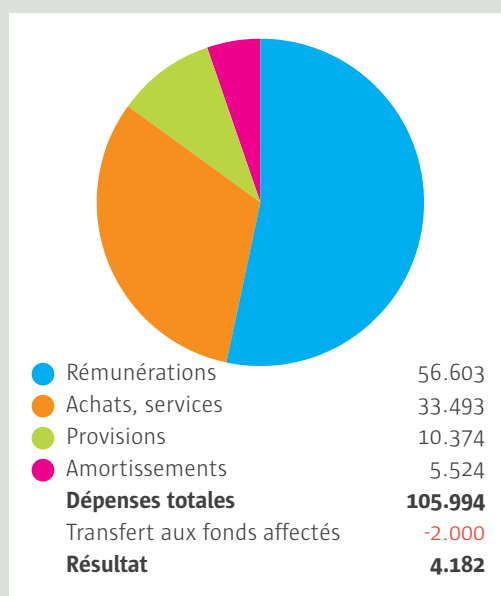
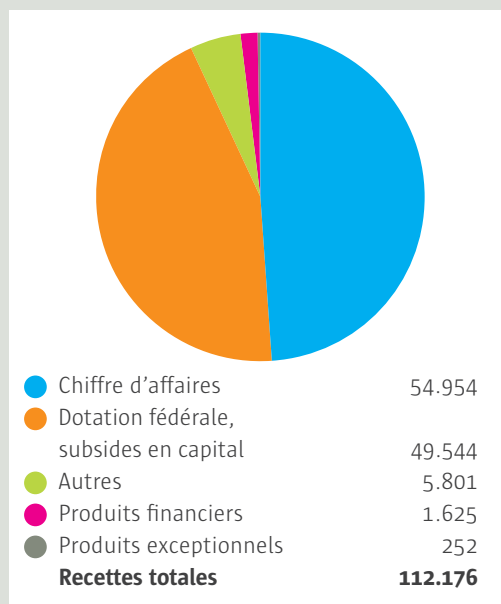
cherche, d'encourager les (nouveaux) chercheurs à publier et de procéder annuellement à une évaluation de notre contribution, le SCK•CEN utilise une base de données spécialement développée à cet effet. Les publications non confidentielles sont disponibles tant pour les chercheurs que pour le grand public via l'Institutional Repository que l'on trouve sur le site du SCK•CEN.

Les diagrammes ci-avant indiquent le nombre de publications scientifiques rédigées par les chercheurs du SCK•CEN en 2009 et 2010.

## Finances

Depuis des années, le SCK•CEN est parvenu à maintenir une gestion saine tant sur le plan scientifique, structurel que financier. L'année 2010 a été marquée par des événements dont le lancement officiel de GUINEVERE et le soutien du gouvernement fédéral au projet MYRRHA. Même si les moyens financiers ont été renforcés, le maintien de la politique d'investissement demeure une opération difficile à la fois pour le projet MYRRHA et l'ensemble des activités de recherche et de prestation de services. Le SCK•CEN ambitionne d'améliorer de façon continue le matériel scientifique ainsi que les infrastructures classiques. Le plan de rénovation des bâtiments avoisine un montant annuel de 20 à 25 MEUR pour les dix prochaines années, tandis qu'il faut investir pour la sécurisation du site et la séparation physique avec le VITO (Institution flamande pour la recherche technologique). La décision de laisser le BR2 fonctionner jusqu'en 2026 implique également le remplacement de la matrice en béryllium du réacteur. La modernisation du réseau informatique et le système de gestion intégrée nécessitent eux aussi du temps et de l'argent.

L'année 2010 a également été une réussite sur le plan financier: un résultat positif de 4,2 MEUR a été enregistré après le transfert de 2,0 MEUR aux fonds affectés. Exprimé en termes d'exécution budgétaire, cela représente un déficit de 4,9 MEUR qui s'explique surtout par des investissements annuels plus élevés que les amortissements et par une augmentation sensible de nos stocks.



↑ 2010 - en milliers d'EUR

L'augmentation importante du cash-flow (résultat + amortissements) de 2009 à 2010 résulte en premier lieu de la hausse considérable du chiffre d'affaires (10,2 MEUR), grâce à la mise en place du sixième cycle d'exploitation du BR2 (impact net de 4,2 MEUR). De plus, les programmes de recherche de l'Institut Sciences des Matériaux nucléaires sont plus étendus que par le passé. La dotation fédérale

annuelle accuse une diminution (0,6 MEUR) mais la dotation spécifique pour le projet MYRRHA constitue un apport de 6,0 MEUR pour la première année du financement 2010-2014.

Les subsides du gouvernement représentent 44,2 % des recettes.

En 2010, les coûts totaux du SCK•CEN se sont élevés à 106,0 MEUR, dont 53 % en frais de personnel, 32 % pour les achats et services, 10 % pour les provisions et 5 % pour les amortissements. Les provisions sont liées pour l'essentiel aux dépenses prévues pour le futur démantèlement des installations.

En 2010, les moyens financiers ont de nouveau augmenté de 11,2 MEUR pour atteindre un niveau de 88,9 MEUR. Ceci est lié aux provisions constituées qui s'élevaient à environ 88,3 MEUR à la fin 2010, soit un peu plus de 50 % du bilan total. En 2010, la croissance des provisions a même atteint 10,4 MEUR. L'augmentation nette du fonds de roulement (actifs et passifs à court terme) est de 0,8 MEUR et le cash-flow est passé de 8,4 MEUR en 2009, à 11,7 MEUR. Les investissements demeurent importants depuis 2008 (10,2 MEUR).

## Bilans comparés (en kEUR)

Actifs	2010-12-31	2009-12-31
Immobilisations incorporelles	2.562	1.177
Immobilisations corporelles	28.478	25.179
Immobilisations financières	5.860	5.857
Commandes en cours d'exécution	18.462	14.179
Créances à un an au plus	24.893	22.630
Placements de trésorerie	84.233	72.120
Liquidités	4.689	5.626
Comptes de régularisation	1.387	867
Total	170.564	147.635

Passifs	2010-12-31	2009-12-31
Fonds propres	48.098	41.774
Provisions pour risques et charges	88.319	77.945
Dettes à plus d'un an	0	0
Dettes financières	0	0
Dettes commerciales	11.534	8.465
Acomptes reçus	12.022	11.918
Impôts, rémunérations et charges sociales	8.711	7.488
Autres dettes	38	39
Comptes de régularisation	1.842	6
Total	170.564	147.635

**SCK•CEN – Centre d’Etude de l’Energie Nucléaire**

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

**Siège d’exploitation**

SCK•CEN, Boeretang 200, BE-2400 MOL

**Siège social**

SCK•CEN, Avenue Herrmann-Debroux 40, BE-1160 BRUXELLES

**Editeur responsable**

Eric van Walle  
Directeur général

Copyright © 2011 – SCK•CEN

Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d’auteur (2011).

Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie,  
sans l’autorisation écrite préalable du SCK•CEN.

**Graphisme**

artoos.be

## Contact

SCK•CEN

Boeretang 200

BE-2400 MOL

Tél. +32 14 33 25 86

Fax +32 14 33 25 84

[info@sckcen.be](mailto:info@sckcen.be)

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



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