

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



Rapport d'activité
2004



> Les missions de l'IRSN

Recherche et missions de **service public**



Définition et mise en œuvre de **programmes de recherche** nationaux et internationaux



Contribution à la formation en radioprotection



Veille permanente en matière de radioprotection



Information du public

Appui et concours technique aux **pouvoirs publics**



Appui technique en matière de risque **nucléaire et radiologique**



Appui opérationnel en cas de crise
ou de **situation d'urgence radiologique**

Prestations contractuelles d'expertise, de recherche et de mesure



Réalisation d'**expertises**, de **recherches**
et de **travaux** pour des organismes publics ou privés

Rapport d'activité 2004



Actualité, stratégie et organisation

Activités en 2004

Pilotage et support



1 Actualité, stratégie et organisation



Surveiller pour protéger

Actualité, stratégie et organisation

Activités en 2004

Pilotage et support

> Compétence, indépendance de jugement et ouverture

trois exigences de l'IRSN

Au terme des trois années du droit de retour qui leur avaient été accordées, plus de 80 % des salariés qui travaillaient à l'IRSN sous statut CEA ont opté pour un contrat IRSN. Ce succès, qui marque une forte adhésion aux missions de notre Institut, valide définitivement notre nouvelle organisation et notre projet. Ensemble, les 1 500 salariés de l'IRSN partagent aujourd'hui les mêmes exigences, les mêmes choix : l'Institut doit faire preuve d'une compétence scientifique et technique du plus haut niveau ; il doit veiller en toutes circonstances à son indépendance de jugement ; son ouverture à l'ensemble des acteurs concernés par ses missions, l'approfondissement du dialogue ainsi noué et la qualité des informations diffusées génèrent la confiance de la société à son égard.

Une saine gestion et la confiance des équipes dans le projet global de l'Institut sont les premiers gages de succès. L'exercice financier 2004, respectueux des engagements pris par l'IRSN, montre un Institut en ordre de marche. Plus complet que les précédents, le rapport d'activité 2004 rend également compte des nombreux travaux réalisés.

Les objectifs ont été atteints. Trois exemples significatifs peuvent être cités :

- le succès du dernier essai du programme Phébus-PF de recherche sur les produits de fission qui résulteraient d'un accident de fusion d'un cœur de réacteur nucléaire,

- la montée en puissance du programme de recherche ENVIRHOM dédié à la compréhension de l'impact, sur l'homme ou sur les écosystèmes, d'expositions chroniques de longue durée à des contaminations radioactives de faible ampleur,
- le nombre record de dossiers présentés aux « groupes permanents » d'experts traitant auprès des autorités de sûreté des questions de sûreté et de radioprotection.

La transparence est un second défi. L'excellence des recherches et la qualité des expertises de l'IRSN sont reconnues. Mais toute assertion scientifique mérite d'être expliquée, analysée, comparée. De même, une expertise ne saurait clore la discussion. Elle ouvre le débat, oriente la décision. On attend également d'elle qu'elle contribue à éclairer l'opinion. Le cru 2004 du baromètre annuel de l'IRSN sur la perception des risques par les Français a rencontré un très large écho dans les ministères, les médias et le public. Cette étude aura notamment souligné la confiance placée dans le travail des scientifiques et des experts. Pour autant, les Français demandent à être mieux informés et associés quand vient l'heure des décisions. Cette attente s'exprime notamment en direction de l'IRSN, expert public des risques nucléaires et radiologiques. Elle ne doit pas être déçue.

Fort de très nombreux atouts, l'IRSN doit aussi assumer pleinement le choix nécessaire de l'ouverture sur la communauté scientifique euro-



Jacques Repussard,
 Directeur général

Jean-François Lacronique,
 Président du conseil
 d'administration

péenne et internationale. À l'avenir, les échanges entre chercheurs, leur coopération par-delà les frontières à des projets communs, la mise en commun des connaissances et le partage des investissements dans les moyens d'essais et les codes de calcul les plus lourds vont devenir la norme. Les critères d'évaluation des risques, les méthodes d'expertise et les normes de sécurité ont vocation à être progressivement harmonisés au sein de l'Union européenne, comme au niveau mondial. Le réseau européen d'excellence Sarnet, dédié à la modélisation des accidents graves dans les installations nucléaires, donne l'exemple d'une telle volonté d'intégration, exemple à méditer dans les domaines de la radioprotection et de la radio-écologie. L'IRSN a un rôle moteur à jouer pour favoriser, en Europe et au-delà, le développement des réseaux de recherche et d'expertise, et exercer une influence croissante au sein des organismes scientifiques internationaux.

“ L'IRSN a un rôle moteur à jouer pour favoriser, en Europe et au-delà, le développement des réseaux de recherche et d'expertise, et exercer une influence croissante au sein des organismes scientifiques internationaux. ”

Jean-François Lacronique,
 Président du conseil
 d'administration

Jacques Repussard,
 Directeur général

> L'IRSN consacre une part de son expertise aux questions relatives à la défense nationale et à la sécurité

L'« expertise nucléaire de défense » de l'Institut recouvre en fait deux champs distincts dans lesquels la responsabilité de l'État est très directement engagée, et où la protection du secret de défense est souvent nécessaire :

- la sûreté nucléaire et la protection radiologique dans les installations et activités nucléaires intéressant la défense nationale, qu'elles soient militaires ou civiles,
- la sécurité et notamment la protection physique, au plan national, des matières nucléaires, des installations et des transports.

Les activités correspondantes, incluant les études et recherches de base, sont menées au sein d'une direction opérationnelle spécifique, avec le soutien de l'ensemble de l'Institut.

L'année 2004 a été mise à profit pour élaborer soigneusement les conventions-cadre qui lient l'Institut aux autorités de l'État pour la fourniture de concours direct (inspection, contrôle opérationnel des transports, etc.) ou d'appui technique (instruction de dossiers, préparation d'exercices, etc.).

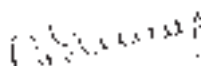
En ce qui concerne les activités, il convient de souligner l'augmentation sensible de la charge de travail, qui s'est dessinée en raison :

- de la modernisation en cours de la force de dissuasion nationale qui fait l'objet d'une approche très rigoureuse au plan de la sûreté,
- du renforcement de la lutte internationale contre la prolifération des armes nucléaires (protocole additionnel à l'accord de garanties de l'AIEA et nouveau règlement EURATOM).



Michel Brière,
Directeur général adjoint,
délégué pour les missions relevant de la défense

L'expertise nucléaire de défense est d'application spécifique et se prête mal, pour des raisons évidentes, à une valorisation sur des marchés nationaux ou étrangers. Dans le contexte actuel, où la demande d'expertise est croissante sans que les ressources budgétaires puissent augmenter, la qualité du dialogue et la confiance entre l'Institut et les autorités de l'État constituent un atout majeur.



Michel Brière,
Directeur général adjoint,
délégué pour les missions relevant de la défense

> Les missions de l'IRSN

Le décret de création de l'IRSN (n° 2002-254 du 22 février 2002) a fixé à l'Institut sept missions en matière de radioprotection et de sûreté nucléaire. Elles sont organisées en trois domaines :

Recherche et missions de service public



Définition et mise en œuvre de programmes de recherche nationaux et internationaux

L'IRSN définit et mène en propre ou confie à d'autres organismes de recherche français ou étrangers des programmes de recherche destinés à maintenir et développer les compétences nécessaires à l'expertise dans ses domaines d'activité.



Contribution à la formation en radioprotection

En tant qu'établissement de recherche et d'expertise, l'IRSN a vocation à contribuer à l'enseignement dans ses domaines de compétence : la sûreté et la sécurité nucléaires ainsi que la radioprotection. Les formations qu'il dispense en radioprotection s'adressent notamment aux professionnels de santé et aux personnes professionnellement exposées.



Veille permanente en matière de radioprotection

L'IRSN participe à la veille permanente en matière de radioprotection, notamment en concourant à la surveillance radiologique de l'environnement et en assurant la gestion et l'exploitation des données dosimétriques concernant les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et la gestion de l'inventaire des sources de rayonnements ionisants.



Information du public

L'IRSN contribue à l'information du public sur les risques nucléaires et radiologiques par le biais de publications, d'Internet, d'une exposition itinérante conjointe avec la DGSNR, de colloques, etc.

Appui et concours technique aux pouvoirs publics



Appui technique en matière de risque nucléaire et radiologique

L'IRSN apporte aux pouvoirs publics qui en font la demande un appui technique dans le domaine du risque nucléaire et radiologique. Son intervention concerne les installations nucléaires civiles, les installations classées secrètes, le transport de substances radioactives, l'application des traités sur le contrôle et la protection physique, et la sécurité des applications industrielles et médicales. L'Institut procède dans les domaines de la sûreté et de la radioprotection à des analyses, à des travaux de recherche et de développement, d'expérimentation et de développement de modèles, de codes et d'outils de sûreté.



Appui opérationnel en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique

En cas d'incident ou d'accident impliquant des sources de rayonnements ionisants, l'IRSN propose aux pouvoirs publics des mesures d'ordre technique, sanitaire et médical, afin d'assurer la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement, et de rétablir la sécurité des installations.

Prestations contractuelles d'expertise, de recherche et de mesure



Réalisation d'expertises, de recherches et de travaux pour des organismes publics ou privés

L'IRSN réalise des prestations contractuelles d'expertise, de recherche et de travaux – analyses, mesures ou dosages – pour des organismes publics ou privés français, européens ou universels. L'Institut effectue, par ailleurs, des prestations de tierce expertise pour des ICPE hors secteur nucléaire.

> L'IRSN en 2004

bilan et perspectives

Établissement public créé en 2002, l'IRSN s'est attaché en 2004 à mettre en œuvre l'ensemble des actions stratégiques fixées en 2003 par le Directeur général. Elles s'inscrivent dans le système de management par la qualité visant à contribuer à l'efficacité du fonctionnement de l'Institut. Dans ce cadre et pour mener à bien ses missions, l'IRSN a notamment engagé l'élaboration du contrat d'objectifs entre l'IRSN et l'État (2006-2009).

Expert public de référence, l'Institut doit être une force de proposition en matière de radioprotection et de sûreté nucléaire. Une stratégie d'action, tant en matière de recherche que d'expertise, se construit au moyen d'un travail de réflexion interne et externe, validé par les tutelles de l'établissement. Aussi, l'IRSN a identifié comme stratégiques une dizaine de programmes transverses correspondant aux domaines où les enjeux sont importants et où l'activité de l'Institut devrait évoluer dans les prochaines années.

Les axes de développement de l'IRSN en 2004

1. OPTIMISER SES MISSIONS D'APPUI AUX POUVOIRS PUBLICS

■ Formaliser les relations avec les pouvoirs publics

Ce travail a abouti en 2004 à la signature de 9 conventions-cadre entre l'IRSN et les administrations auxquelles il apporte son appui technique (DSND, DGSNR, DRT, DPPR, etc.). Deux conventions restent à mettre au point avec l'autorité de sûreté en matière de défense.

■ Clarifier les modes de fonctionnement avec les administrations

Il s'agit d'adapter le « code de bonne pratique » élaboré avec la DGSNR pour améliorer l'efficacité des relations et des pratiques pour les évaluations de sûreté des installations nucléaires de base. Un état des lieux des pratiques actuelles a été effectué en 2004 avec les administrations concernées. Il a conduit à la mise en place de groupes de travail chargés d'identifier les axes de progrès, en tenant compte des contraintes de chacun. Ce travail sera achevé en 2005.

■ Mettre en œuvre les missions de service public

Dans la limite des moyens qui lui sont attribués,

Schéma d'investissement stratégique

L'IRSN a bâti fin 2004 un plan d'investissement de 40 M € destiné à financer le renouvellement d'équipements. Il prévoit notamment la remise à niveau et la densification du réseau de mesures de l'environnement. Il comprend également le renouvellement des véhicules d'intervention en cas de crise, le simulateur SIPA, etc.

l'IRSN a poursuivi la mise en place du réseau national de mesures dans l'environnement, de SISERI (base de données sur les doses reçues par les travailleurs), du dispositif de gestion des sources, etc.

2. REFONDER SA DYNAMIQUE DE RECHERCHE EN CONCERTATION AVEC SES GRANDS PARTENAIRES

■ Promouvoir l'excellence scientifique et technique

Le conseil scientifique a été constitué et s'est réuni pour la première fois en 2004. Il a pour mission de veiller à la qualité de la production scientifique de l'Institut en matière de recherche et d'expertise : qualité des projets – en amont et en aval – des équipes et des chercheurs. En complément des outils d'évaluation interne de l'Institut (audits,

commissions, revues de projets, etc.), le conseil scientifique juge de l'intérêt scientifique et technique des programmes et de leurs résultats. Par ailleurs, l'Institut a souhaité confronter les programmes de recherche qu'il mène avec les industriels qui les utilisent et participent parfois à leur financement. C'est dans cette démarche de qualité et de pertinence que l'IRSN et EDF ont décidé en 2004 d'organiser un séminaire de réflexion en matière de recherche.

3. OUVRIR SON EXPERTISE AUX ATTENTES DE LA SOCIÉTÉ

■ Impulser une expertise pluraliste

L'Institut s'est engagé dans la mise en place de groupes rassemblant, autour de l'IRSN, des industriels, des associations et des experts extérieurs à l'Institut pour réfléchir aux enjeux techniques de sujets complexes ou controversés. En 2004, le site minier des Bois-Noirs (Loire) a donné lieu à une première réflexion, qui pourrait s'étendre à l'ensemble des sites miniers à travers un groupe d'expertise pluraliste.

■ Valoriser les activités de l'Institut

Des actions ont été menées en interne, tant pour informer les équipes (séminaires de sensibilisation à la propriété industrielle) que pour formaliser

Préparation du projet d'entreprise

En septembre, l'IRSN a organisé un forum rassemblant 200 collaborateurs autour du thème de réflexion : « Quelle stratégie et quelles actions pour demain ? ». Il s'agissait de contribuer à l'élaboration du projet d'entreprise de l'IRSN pour les années à venir : un projet qui lui permettrait de conduire ses missions d'expert public au service de la société.

Élaboration du contrat d'objectifs avec l'État

Engagée en janvier 2004, la réflexion autour du contrat d'objectifs entre l'IRSN et l'État a donné lieu à de nombreux travaux internes et réunions avec les tutelles. Organisé autour des quatre axes de développement fixés en 2003, le contrat d'objectifs doit permettre à terme de renforcer la position de l'Institut dans le domaine de la maîtrise des risques radiologiques et nucléaires, au plan national et international, en tenant compte des attentes des différents interlocuteurs. En novembre 2004, l'IRSN a remis à ses tutelles un premier document servant de base aux discussions avec les administrations.

l'offre des prestations proposées par l'IRSN (élaboration de 40 fiches techniques).

4. DÉVELOPPER LA DIMENSION EUROPÉENNE ET INTERNATIONALE

■ Poursuivre les programmes de recherche internationaux

En 2004, l'IRSN a pris position pour que le 7^e PCRD soutienne les recherches sur les réacteurs existants et qu'il distingue les projets d'appui aux politiques publiques, des projets des industriels.

■ Promouvoir des positions communes en matière d'expertise

L'IRSN, AVN et GRS ont lancé la rédaction d'un guide commun d'évaluation de sûreté des installations nucléaires. En 2004, ils ont réalisé le premier chapitre consacré à l'harmonisation des principes appliqués par les trois organismes.

■ S'impliquer dans les organisations internationales

La CIPR, dont les recommandations en radioprotection servent de base aux textes réglementaires internationaux, a renouvelé sa composition en 2004. L'IRSN est représenté au sein de la commission principale et de quatre des cinq comités thématiques, dont le dernier créé est dédié à la protection de l'environnement. Ce sujet est en lien avec le programme stratégique « risques chroniques ». L'IRSN s'efforce aussi d'être présent et actif dans les autres instances internationales traitant de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

> Faits marquants

JANVIER

- 8 Lancement du projet TACIS de soutien technique à l'Autorité de sûreté ukrainienne dans l'analyse du dossier d'autorisation de démarrage des réacteurs VVER 1000 de Rovno 4 et Khmelnytsky 2.
- 22 Examen, par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, d'un rapport de l'IRSN sur la sûreté du réacteur expérimental CABRI et de la boucle à eau pressurisée dont l'implantation dans ce réacteur est prévue par le CEA.
- 31 Réunion de synthèse de la 2^e campagne d'intercomparaison internationale des laboratoires d'étalonnage des instruments de mesure du radon (EUROMET, n° 657).

FÉVRIER

- 4-5 Journées de sensibilisation des membres du Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires et du Groupe permanent pour les usines sur le traitement des risques liés aux séismes.

MARS

- 3 Examen par le Groupe permanent pour les installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs, d'un dossier de l'ANDRA relatif au comportement mécanique

d'une installation éventuelle de stockage sur le site de Bure (Meuse).

- 16 Séminaire interne sur l'excellence scientifique et technique, organisé sur le site du Vésinet (Yvelines).
- 16 AU 19 Participation au Medec, salon professionnel du monde médical.
- 18 Création de Sarnet, réseau d'excellence européen consacré à la recherche sur les accidents graves, coordonné par l'IRSN.
- 23 L'IRSN organise un séminaire consacré aux « approches concertatives » ; ce séminaire a réuni une centaine d'acteurs de la société (industriels, exploitants, experts, administrations, syndicats, associations, CLI et ANCLI), en vue d'améliorer la concertation autour des sites industriels à risque.
- 24
 - L'ANCLI et l'IRSN organisent un séminaire afin de préciser les axes de leur coopération à partir d'une enquête préalablement menée auprès de CLI.
 - Examen par le Groupe permanent pour les installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs et le Groupe permanent pour les installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires, d'un dossier d'EDF relatif au démantèlement des réacteurs de première génération (Saint-Laurent-des-Eaux, Loir-et-cher et Bugey, Ain, etc.).

■ 26

Signature de deux conventions avec le HFD du ministère chargé de l'Industrie, concernant le concours technique de l'IRSN pour la mise en œuvre : de la convention sur l'interdiction des armes chimiques et des textes réglementaires relatifs à la protection et au contrôle des matières.

■ 29

- Jacques Repussard présente aux tutelles la démarche d'implication des parties prenantes, notamment par la conduite d'actions pilotes d'expertise pluraliste.
- Signature de la convention-cadre d'appui et de concours technique de l'IRSN au DSND.

AVRIL

■ 20

Envoi du CD-Rom « Éléments sur le risque nucléaire et sa gestion » aux préfetures et aux CLI des centrales nucléaires EDF.

■ 28

- La Commission de sûreté des réacteurs examine un rapport de l'IRSN, relatif aux systèmes de sécurité du futur sous-marin d'attaque *Barracuda*.
- Renouvellement des accréditations Cofrac des laboratoires de métrologie de l'IRSN.
- Démarrage du contrat TACIS RF/TS/39 au bénéfice de SEC/NRS (autorité de sûreté russe) avec la participation de l'IRSN, de GRS et d'APAT. Il porte sur : l'évaluation de la procédure d'autorisation des



entrepasages de déchets du Groupe « radon », la rédaction d'un plan guide de rapport de sûreté d'un entreposage de déchets et l'évaluation du rapport de sûreté relatif à la création d'une nouvelle installation d'entreposage qui pourrait, à terme (cinquante ans), devenir un stockage de déchets en surface sur le site de Serguiev Posad situé dans le nord de la région de Moscou.

MAI

■ 24 AU 28

- Présidence par un expert de l'IRSN de la session sur les aspects sociaux et l'implication du public dans la radioprotection au congrès international des professionnels de la radioprotection IRPA, à Madrid.
- Signature d'un contrat avec la SNCF pour une étude de postes de travail au regard des neuf types de matières radioactives transportées.
- Achèvement du projet « Revue du rapport de sûreté de Kursk 1 » et présentation des résultats au groupe SRG (BERD).

JUIN

■ 4

Signature de la convention avec la DGSNR, précisant les conditions dans lesquelles l'IRSN apporte son appui technique à la DGSNR ainsi que les modalités de lancement et d'exécution des actions d'appui technique.

■ 8

Examen par le Groupe permanent pour les installations destinées

au stockage à long terme des déchets radioactifs, d'un dossier de l'Andra relatif aux phénomènes géochimiques régissant le relâchement et le transport des radionucléides dans un stockage en formation géologique profonde sur le site de Bure (Meuse).

■ 9

- Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, de la méthode d'EDF pour la prise en compte des aspects associés au facteur humain dans les modifications des installations.
- Séminaire de synthèse du programme REP-Na : bilan des dix premiers essais du programme CABRI REP-Na, et des questions restant ouvertes à aborder dans le prochain programme CABRI boucle à eau.

■ 10-11

Organisation du séminaire final du projet international MASCA de l'OCDE sur le comportement du corium en fond de cuve.

■ 14

Organisation à Cologne (Allemagne) d'un séminaire Eurosafe sur la gestion des connaissances dans les organismes de recherche et d'expertise nucléaire.

■ 18

Signature de la convention avec la DPPR : elle précise les conditions dans lesquelles l'IRSN apporte son appui technique à la DPPR ainsi que les modalités de lancement et d'exécution des actions d'appui technique.

■ 23 AU 25

1^{re} session de formation dispensée par l'IRSN sur la « métrologie du radon », dans le cadre de sa mission de formation à la radioprotection.

JUILLET

■ 1^{ER}

Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, de certains aspects relatifs à la sûreté du réacteur EPR (contrôle-commande, radioprotection, enceinte de confinement, etc.).

■ 6

Nomination des membres du conseil scientifique de l'IRSN.

■ 8

- Présentation du plan d'action de l'IRSN en radioprotection (maison de l'Amérique latine, Paris).
- Publication de l'inventaire national des sites miniers d'uranium réalisé par l'IRSN (de la fin de la Seconde Guerre mondiale à mai 2001).
- Séminaire sur les déchets organisé à La Havane (Cuba) par le CPRH, l'IRSN, le CSN, le SSI, auquel ont participé six pays d'Amérique centrale.

AOÛT

- Signature d'un accord de collaboration avec le CERECE (Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement) sur le programme paléosismique en Provence.
- Renouvellement pour quatre ans de la collaboration avec l'Ukraine sur le projet de plateforme expérimentale de Tchernobyl.

> Faits marquants

SEPTEMBRE

■ 6 AU 10

Deuxième édition du congrès Ecorad, organisé par l'IRSN, visant à faire le point sur les connaissances permettant d'évaluer l'impact de la radioactivité sur l'environnement.

■ 20-21

Forum interne IRSN « quelle stratégie et quelles actions pour demain ? ».

■ 22

Signature d'un accord tripartite BFS/NRPB/IRSN pour une assistance en dosimétrie (analyses biologiques) en cas de situation de crise.

■ 22-23

- Organisation de la journée SFRP sur les expositions à la radioactivité naturelle du fait des activités humaines.
- Transmission aux DRASS PACA et Languedoc-Roussillon, aux DDASS des Bouches-du-Rhône, du Vaucluse et du Gard, au DSND, à la DGSNR, à la CLI du Gard, à la DPPR, à la DRIRE PACA, d'un rapport sur les conséquences radiologiques des inondations de décembre 2003 en petite Camargue.

OCTOBRE

■ 1^{ER}-2

Participation de l'IRSN aux Journées françaises de radiologie.

■ 4 AU 6

Journées thèses de l'IRSN 2004 à Aussois.

■ 5-6

L'IRSN, GRS et ICC organisent à Kiev un séminaire de présentation des

résultats de l'IFA (initiative franco-allemande pour Tchernobyl).

■ 6

- Fin du contrat PHARE pour le compte de l'autorité de sûreté lituanienne et signature d'un autre contrat avec cette même autorité et la Commission européenne, concernant le démantèlement de la centrale d'Ignalina.

- La Commission de sûreté des réacteurs examine un rapport de l'IRSN, relatif au référentiel de sécurité du futur sous-marin d'attaque *Barracuda*.

■ 14

- Signature de la convention avec la DDSC, précisant les conditions dans lesquelles l'IRSN apporte son appui technique à la DDSC, ainsi que les modalités de lancement et d'exécution des actions d'appui technique.

- Rencontre du Groupe permanent chargé des réacteurs et de son homologue allemand (RSK) pour échanger des informations sur les avis concernant la sûreté des réacteurs nucléaires de puissance émis en 2003 et 2004.

- Diffusion d'un document commun IRSN/GRS/AVN pour l'évaluation de sûreté (*Safety Assessment Guide*).

■ 19

Exercice d'inventaire de matières nucléaires en situation de crise relatif aux installations CERCA et Orphée.

NOVEMBRE

■ 8-9

IRSN et GRS organisent le 6^e Forum Eurosaf à Berlin (Allemagne) sur le thème du retour d'expérience en sûreté nucléaire.

■ 15

1^{re} réunion du conseil scientifique de l'IRSN.

■ 18

- Réalisation de l'essai Phébus FPT3, cinquième et dernier essai du programme Phébus PF.

- Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires de certains aspects relatifs à la sûreté du réacteur EPR (récupérateur de corium, système d'injection de sécurité, accidents de dilution de bore, etc.).

■ 19

Organisation d'une table ronde sur le rôle de l'organisme d'expertise en matière de transparence autour du nucléaire, avec la participation d'une dizaine d'acteurs de diverses origines (journalistes, CLI, associations, experts).

■ 25

Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, du retour d'expérience de l'exploitation des combustibles pour la période 1996-2002.

■ 30

- Examen par le Groupe permanent pour les installations destinées au stockage à long terme des déchets



radioactifs, du dossier « Granite 2002 » de l'ANDRA.

- Signature par Riskaudit d'un contrat d'assistance technique à la Bulgarie pour le renforcement du contrôle des sources radioactives.

■ 30/11 AU 3/12

Participation au salon Pollutec à Lyon.

DÉCEMBRE

■ 2

- Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, du retour d'expérience d'exploitation des réacteurs à eau sous pression français et étrangers au cours de la période 2000 à 2002 (1^{re} séance).

- Signature, avec le CEA, des contrats de réalisation concernant l'exploitation des réacteurs CABRI et PHÉBUS, la réalisation d'essais dans ces installations et la mise à niveau de l'installation CABRI.

■ 3

Signature de la convention-cadre de collaboration avec l'INRS : elle concerne en particulier les transferts de connaissances entre les deux organismes, la mise en commun d'outils scientifiques, la conduite de recherches ou d'expertises communes, la formation des professionnels, l'expertise et l'évaluation des risques aux postes de travail.

■ 6

Signature d'une convention de collaboration avec l'ANVAR, afin de promouvoir la diffusion technologique,

et d'exploiter le potentiel d'innovation et de valorisation de l'IRSN.

■ 12

Accord tripartite IRSN/EDF/CEA relatif au programme de recherche TERME SOURCE, qui a pour objectif de réduire les incertitudes sur l'évaluation des rejets de produits radioactifs lors d'un accident de fusion du cœur d'un réacteur à eau sous pression.

■ 14

La Commission de sûreté des réacteurs examine un rapport de l'IRSN, relatif aux interactions entre le système d'armes du futur sous-marin d'attaque *Barracuda* et la sûreté de la chaufferie nucléaire.

■ 14 AU 22

Réunions entre l'Agence fédérale à l'énergie atomique (Rosatom), le NIKIMT, IBRAE et ERC de Saint-Petersbourg (Russie) et l'IRSN dans le cadre de la collaboration en matière de gestion de crise.

■ 15

Examen par le Groupe permanent pour les installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires, des conditions de démantèlement de Super-Phénix.

■ 16

Présentation devant le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, de différents sujets concernant les dispositions prises ou envisagées par EDF à l'égard des accidents avec fusion du cœur pouvant affecter les centrales REP.

■ 21

- Lancement d'un nouveau site Internet permettant de consulter en ligne les résultats d'analyse de la radioactivité dans les milieux aquatiques.

- Diffusion à la DGSNR et mise sur Internet du rapport définissant les protocoles de mesures du radon dans les établissements thermaux.

- Présentation à la Compagnie générale des eaux de Toulouse, au CHU de Toulouse, à la DRASS, à la DRIRE, à la DDASS et à la DSNR locales, d'une étude sur l'origine et le devenir de la radioactivité d'origine médicale dans le réseau d'eaux usées de la ville de Toulouse.

- Transmission à la DPPR du rapport portant sur la contamination de la chaîne alimentaire par les produits de fission relâchés lors des essais d'armes nucléaires.

■ 22

Examen par le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires, du cahier des charges des modifications envisagées par EDF sur le colmatage des puisards des systèmes d'injection de sécurité et d'aspersion dans l'enceinte, en cas de brèche accidentelle du circuit primaire d'un REP.

> Organisation

l'IRSN en bref

■ Création

L'IRSN a été créé par l'article 5 de la loi du 9 mai 2001 instituant l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale, et par le décret d'application du 22 février 2002.

■ Statut

L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères chargés de l'Écologie et du Développement durable, de la Santé et des Affaires sociales, de la Recherche, de l'Industrie, et de la Défense.

■ Dirigeants

Jean-François LACRONIQUE, Président du conseil d'administration

Jacques REPUSSARD, Directeur général

Michel BRIÈRE, Directeur général adjoint, délégué pour les missions de l'IRSN dans les domaines relevant de la défense

Philippe JAMET, Directeur général adjoint pour les affaires générales

■ Expertise et recherche

L'IRSN est l'expert public de la recherche et de l'expertise sur le risque nucléaire et radiologique.

■ Domaines d'activités

- Environnement et intervention.
- Radioprotection de l'homme.
- Prévention des accidents majeurs.
- Sûreté des réacteurs.
- Sûreté des usines, des laboratoires, des transports et des déchets.
- Expertise nucléaire de défense.

■ 4 axes de développement

- Optimiser ses missions d'appui aux pouvoirs publics.
- Refonder sa dynamique de recherche en concertation avec ses grands partenaires.
- Ouvrir son expertise aux attentes de la société.
- Développer la dimension européenne et mondiale.

■ Budget 2004

Des recettes de 254 M€,
des dépenses de 276 M€ dont 16 M€ d'investissements.

■ Effectifs

L'IRSN rassemble environ 1 500 spécialistes ingénieurs, chercheurs, médecins, agronomes, vétérinaires et techniciens, experts compétents en sûreté nucléaire et radioprotection ainsi que dans le domaine du contrôle des matières nucléaires sensibles.

■ Implantations

Siège social : Clamart

Agen, Cadarache, Fontenay-aux-Roses,
La Seyne-sur-Mer, Le Vésinet,
Les Angles/Avignon, Mahina (Tahiti),
Octeville/Cherbourg, Orsay, Pierrelatte, Saclay.

> L'activité 2004

en quelques chiffres

LA RECHERCHE

50 %

du budget de l'IRSN
consacré aux activités
de recherche

172

publications dans des
revues scientifiques,
avec comité de lecture

L'APPUI TECHNIQUE AUX POUVOIRS PUBLICS

608

avis techniques
aux pouvoirs publics
(hors activités
intéressant la défense)

272

avis aux autorités
de sécurité
pour les activités
intéressant la défense

L'ACTIVITÉ INTERNATIONALE

100

accords bilatéraux signés
avec des organismes de
recherche et d'expertise
de 30 pays

80

projets
internationaux en cours

RESSOURCES HUMAINES

1515

personnes employées
par l'IRSN ou mis à
disposition de l'Institut
par le CEA

PATRIMOINE INTELLECTUEL DE L'IRSN

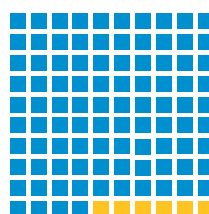
16

brevets français
en vigueur (dont un
en copropriété avec
le CEA) et 20 brevets
en vigueur à l'étranger

158

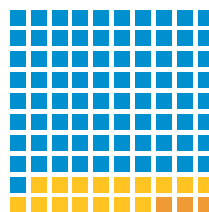
logiciels et bases
de données répertoriés,
dont 24 en copropriété
avec le CEA

Budget 2004



Dépenses :

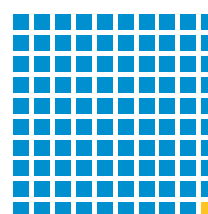
Fonctionnement 94 %
Investissement 6 %



Origine de financement :

État 81 %
France 16 %
Étranger 3 %

État



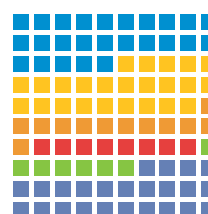
MEDD 99 %
Autres 1 %

France



EDF 30 %
COGEMA 7 %
DGSNR 7 %
CEA 5 %
Autres 51 %

Étranger



CCE 25 %
RISKAUDIT 24 %
GRS 12 %
EPRI 8 %
NRC 7 %
Autres 24 %

> Le conseil d'administration

au 31 décembre 2004

Le conseil d'administration règle par ses délibérations les affaires de l'IRSN en matière d'organisation et de fonctionnement. Il veille aux programmes d'activités et décide des suites à donner aux résultats des travaux. Sur le plan financier, il vise l'état annuel des prévisions de recettes et de dépenses, les décisions modificatives et l'affectation des résultats.

Il examine les modalités générales de formalisation des conventions, contrats et marchés. Il valide les acquisitions et cessions de droits de propriété industrielle, les prises ou cessions de participations financières, les projets immobiliers d'envergure. Il s'assure des conditions générales de gestion des ressources humaines (recrutement, emploi, rémunération).

Le conseil d'administration est composé de 24 membres : 10 représentants de l'État nommés, 6 personnalités qualifiées choisies en raison de leur compétence, dont un député ou sénateur, 8 représentants du personnel de l'établissement élus. Le mandat des membres du conseil d'administration est d'une durée de cinq ans.

■ COMPOSITION

Président : Jean-François LACRONIQUE

■ REPRÉSENTANTS DE L'ÉTAT

Patrick AUDEBERT

Chef de la mission nationale d'appui à la gestion du risque nucléaire, représentant le ministre chargé de la Sécurité civile

Jean-Denis COMBREXELLE

Directeur des relations du travail, représentant le ministre chargé du Travail

Marie-Claude DUPUIS

Chef du service de l'environnement industriel à la Direction de la prévention des pollutions et des risques, représentant le ministre chargé de l'Écologie et du Développement durable

Florence FOUQUET

Chargée de la sous-direction de l'industrie nucléaire à la Direction générale de l'énergie et des matières premières, représentant le ministre chargé de l'Industrie

Bernard FROIS

Directeur du département Énergie, transports, environnement, ressources naturelles de la Direction de la technologie, représentant le ministre chargé de la Recherche

Marcel JURIE de la GRAVIÈRE

Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la défense

André-Claude LACOSTE

Directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection

Thierry MICHELON

Sous-directeur de la gestion des risques des milieux à la Direction générale de la santé, représentant le ministre chargé de la Santé et des Affaires sociales

Marc PREVÔT

Ingénieur général, Inspecteur de l'armement pour les constructions navales, représentant le ministre chargé de la Défense

Nicolas VANNIEUWENHUYZE

Chef de bureau à la Direction du budget, représentant le ministre chargé du Budget jusqu'au 30 juin, date à laquelle il a démissionné et n'a pas encore été remplacé

■ PERSONNALITÉS QUALIFIÉES

Claude BIRRAUX

Vice-président de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques

Dominique GOUTTE

Directeur du grand accélérateur d'ions lourds, sur proposition du ministre chargé de la Recherche

Jean-François LACRONIQUE

Professeur de médecine, sur proposition du ministre chargé de la Santé et des Affaires sociales

Maurice LAURENT

Ancien Directeur de service à l'Assemblée nationale, sur proposition du ministre chargé de l'Industrie

Jean RANNOU

Général d'armée aérienne, sur proposition du ministre chargé de la Défense

Jacques VERNIER

Maire de Douai, sur proposition du ministre chargé de l'Écologie et du Développement durable jusqu'en avril 2004, date à laquelle il a démissionné et n'a toujours pas été remplacé

■ PERSONNALITÉS PRÉSENTES DE DROIT

Thierry TROUVÉ

Commissaire du gouvernement et Directeur de la prévention des pollutions et des risques

Daniel RACINET

Contrôleur d'État

Jacques REPUSSARD

Directeur général

Jean-Claude DALE

Agent comptable

Marie-Catherine POIRIER

Secrétaire du comité d'entreprise

■ ADMINISTRATEURS SALARIÉS

Représentants CFDT

François ROLLINGER, Dominique MARTINEAU, Thierry FLEURY

Représentants CFE-CGC

Hervé BOLL, Jean-Marc DORMANT

Représentants CGT

Mireille ARNAUD, Xavier MOYA, Betty CATANIA

> Le conseil scientifique au 31 décembre 2004

Le conseil scientifique examine, pour avis, les programmes d'activités de l'Institut. Il s'assure de la pertinence et du suivi des programmes de recherche définis par l'IRSN. Il évalue leurs résultats. Il peut formuler toute recommandation sur l'orientation des activités de l'établissement.

Le conseil scientifique peut être consulté par le Président du conseil d'administration de l'IRSN ou par les ministres de tutelle.

Le conseil scientifique de l'IRSN a été constitué le 6 juillet 2004, par arrêté conjoint du ministre de l'Écologie et du Développement durable, du ministre de la Santé et de la Protection sociale, du ministre de la Défense, du ministre délégué à l'Industrie et du ministre délégué à la Recherche.

■ COMPOSITION

Président : Michel QUINTARD

Directeur de recherche à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse, sur proposition du ministre chargé de la Recherche

Bernard SEVESTRE

Ingénieur général de l'armement, Directeur adjoint au Commissariat à l'énergie atomique, sur proposition du ministre chargé de la Défense

Martin SCHLUMBERGER

Professeur de médecine, chef de service à l'Institut Gustave-Roussy, sur proposition du ministre chargé de la Défense

Ethel-Esther MOUSTACCHI

Directrice scientifique auprès du Haut-commissaire à l'énergie atomique, sur proposition du ministre chargé de l'Environnement

Victor TESCHENDORFF

Chef de département à la Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, (GRS / Allemagne) sur proposition du ministre chargé de l'Environnement

André AURENGO

Professeur de médecine, Chef de service à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, sur proposition du ministre chargé de la Santé

Jean-Marc COSSET

Professeur de médecine, Chef de département à l'Institut Curie, sur proposition du ministre chargé de la Santé

George YADIGAROGU

Professeur d'ingénierie nucléaire à l'Institut fédéral suisse de technologie, sur proposition du ministre chargé de l'Industrie

André PINEAU

Professeur à l'école des Mines de Paris, sur proposition du ministre chargé de l'Industrie

Philippe LECONTE

Physicien, ancien Directeur du programme de recherche de gestion des déchets radioactifs au CEA, sur proposition du ministre chargé de la Recherche

René AMALBERTI

Professeur de médecine, Chef de département à l'Institut de médecine aérospatiale, sur proposition du ministre chargé du Travail

Lars-Erik HOLM

Professeur de médecine, Directeur général de l'Autorité suédoise de protection contre les radiations, sur proposition du ministre chargé du Travail

> L'organigramme

avril 2005



CONSEIL D'ADMINISTRATION

Jean-François LACRONIQUE, Président



DIRECTION GÉNÉRALE

Jacques REPUSSARD, Directeur général

Michel BRIÈRE, Directeur général adjoint délégué pour les missions de l'IRSN dans les domaines relevant de la défense

Philippe JAMET, Directeur général adjoint pour les affaires générales



DIRECTIONS OPÉRATIONNELLES



■ Direction de l'expertise nucléaire de défense

Jérôme JOLY, Directeur

- Application des contrôles internationaux
- Appui technique et études
- Évaluation de sûreté défense
- Sécurité des installations nucléaires



■ Direction de l'environnement et de l'intervention

Didier CHAMPION, Directeur

- Étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes
- Étude et surveillance de la radioactivité dans l'environnement
- Analyse des risques liés à la géosphère
- Traitement des échantillons et métrologie pour l'environnement
- Intervention et assistance en radioprotection
- Situations d'urgence et organisation de crise



■ Direction de la prévention des accidents majeurs

Michel SCHWARZ, Directeur

- Études et recherches expérimentales sur les accidents
- Instrumentation et ingénierie expérimentale
- Études et modélisation du combustible en situations accidentelles
- Études et modélisation de l'incendie, du corium et du confinement



■ Direction de la radioprotection de l'homme

Patrick GOURMELON, Directeur

- Études et expertise en radioprotection
- Radiobiologie et épidémiologie
- Dosimétrie externe
- Dosimétrie interne



■ Direction de la sûreté des réacteurs

Martial JOREL, Directeur

- Réacteurs à eau sous pression
- Réacteurs refroidis au gaz, à neutrons rapides et d'expérimentation
- Matériels et structures
- Systèmes et risques
- Thermohydraulique, cœurs et conduite des installations
- Accidents graves et conséquences radiologiques
- Facteurs humains



■ Direction de la sûreté des usines, des laboratoires, des transports et des déchets

Thierry CHARLES, Directeur

- Transports et installations du cycle du combustible
- Laboratoires, irradiateurs, accélérateurs et réacteurs à l'arrêt définitif
- Déchets radioactifs
- Risques industriels, incendie et confinement
- Criticité
- Aérodispersion des polluants

DIRECTIONS FONCTIONNELLES



■ Direction de la stratégie, du développement et des relations extérieures

Jean-Christophe NIEL*, Directeur

- Programmes stratégiques
- Relations avec les partenaires institutionnels
- Instruments de pilotage et suivi des objectifs stratégiques
- Programmes d'études et recherche
- Relations internationales
- Doctrines et synthèses
- Valorisation et accompagnement d'opérations
- Relations avec les parties prenantes
- Secrétariat des groupes permanents
- Gestion des risques



■ Direction de l'évaluation scientifique et technique et de la qualité

Joseph LEWI, Directeur

- Enseignements de radioprotection
- Évaluation et animation scientifique
- Management de la qualité
- Hygiène, sécurité et protection de l'environnement
- Ingénierie de la connaissance scientifique et technique
- Ressources en information scientifique



■ Direction de la communication

Marie-Pierre BIGOT, Directrice

- Communication interne
- Information et relations avec les médias
- Programmes et relations avec les publics



■ Secrétariat général

Jean-Baptiste PINTON, Secrétaire général

- Affaires financières
- Ressources humaines
- Relations commerciales et appui juridique
- Gestion de l'immobilier et services généraux
- Administration des systèmes d'information

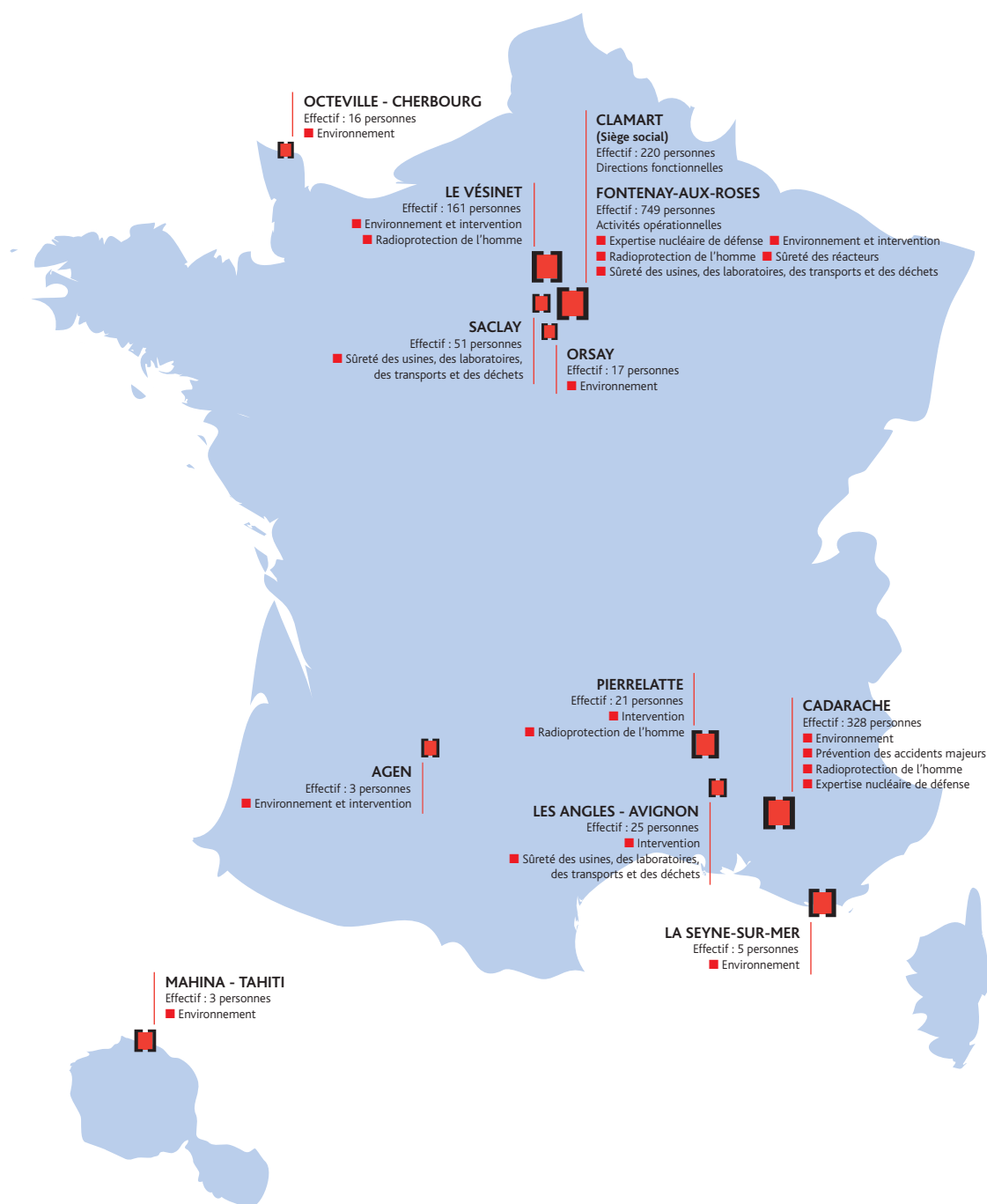


■ Agence comptable

Jean-Claude DALE, Agent comptable

* A quitté l'IRSN à la date de parution du rapport.

> Les implantations de l'IRSN : activités et effectifs



> Retrouver les coordonnées de l'ensemble de nos implantations sur le rabat, en fin de rapport.



Connaître *pour prévoir*



Présentation des programmes

Pour assurer au mieux les missions qui lui sont confiées, l'IRSN a organisé son activité en différents programmes thématiques. Certains d'entre eux sont dits stratégiques, car ils sont transversaux, répondent à des enjeux prioritaires de l'Institut ou mobilisent des moyens et des équipes autour d'un objectif commun. Les programmes de l'IRSN sont organisés autour de six objectifs.

Expertise nucléaire civile

Fiabilité humaine et organisationnelle

Le programme regroupe l'ensemble des actions de l'IRSN sur les thèmes de la fiabilité humaine et de l'analyse des organisations dans les installations nucléaires ou autres conditions d'exposition aux rayonnements ionisants.

Il répond ainsi à la demande croissante des autorités de sûreté et de radioprotection et prend en compte les évolutions liées au vieillissement des équipes de conduite, à l'évolution des compétences, etc.

Analyse de la sûreté des REP et des autres réacteurs en exploitation

En soutien aux autorités, l'IRSN assure le suivi en exploitation des réacteurs de puissance d'EDF, et des autres réacteurs en exploitation pour les besoins de l'expérimentation. Il examine les informations provenant de l'exploitation des réacteurs, identifie et hiérarchise les problèmes de sûreté et établit les bilans en fonction du retour d'expérience. Par ailleurs, l'IRSN analyse les dossiers de sûreté, transmis dans le cadre réglementaire par les exploitants.

Appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation

L'IRSN effectue des études et des actions de recherche afin d'optimiser l'appui aux pouvoirs publics

pour ce qui concerne la sûreté des installations actuelles et futures. Les activités de l'IRSN se déclinent selon trois axes : développement des études probabilistes de sûreté, réalisation d'études en support à l'analyse, acquisition et/ou développement de logiciels, et de codes de calculs et recherche associée.

Vieillessement des REP

Le vieillissement d'une centrale nucléaire se traduit par une dégradation des composants, qu'il convient de prévenir, de surveiller et de pallier, afin de s'assurer que l'installation peut fonctionner dans des conditions de sûreté satisfaisantes.

La recherche réalisée par l'IRSN couvre les différents aspects du problème : vieillissement des composants ; étude du comportement du confinement ; vieillissement ; contrôles non destructifs.

Le combustible et sa gestion en fonctionnement normal et accidentel

Pour des raisons économiques, EDF cherche à prolonger la durée d'utilisation des combustibles et s'oriente vers de nouveaux matériaux. Pour ces nouvelles conditions d'exploitation, les travaux de l'IRSN concernent :

- pour l'expertise, la pertinence des critères de



sûreté existants ou la définition de nouveaux critères et l'appréciation des marges de sûreté associées ;
■ pour la recherche, l'amélioration des connaissances.

Réacteurs du futur et projets innovants

Ce programme doit offrir à l'IRSN, à l'horizon 2010, un positionnement pertinent et concerté sur les projets les plus crédibles envisagés pour succéder aux générations actuelles de réacteurs de puissance. Le programme vise les réacteurs de génération IV, avec des objectifs d'améliorations en matière de sûreté, de réduction des déchets, de résistance à la prolifération et aux actes de malveillance.

Accidents graves des réacteurs

Les études et recherches de l'IRSN menées sur les accidents de fusion du cœur d'un réacteur à eau (accidents graves) visent à une compréhension suffisante des phénomènes pour apprécier les risques associés à ces accidents et les dispositions

retenues par l'exploitant à leur égard. L'objectif est d'améliorer la prévention de ces accidents, d'identifier les moyens de limiter leurs conséquences, et de préparer l'IRSN à la gestion de la crise en cas d'accident.

Sûreté des usines, des transports et du démantèlement

Ce programme doit permettre de contribuer à la sûreté des usines, des transports et du démantèlement, en identifiant le cas échéant des voies d'amélioration de leur sûreté. Il comprend :

- l'évaluation de la sûreté des usines, des autres installations et des transports ;
- la gestion de l'inventaire national des sources « civiles » de rayonnement ;
- les recherches et les études relatives au risque de criticité, notamment lors des transports ;
- les travaux d'expertise réalisés à l'international et pour des installations non nucléaires à risque.

Expertise nucléaire de défense

Sûreté des installations, des systèmes et des transports

L'IRSN exerce une activité d'appui technique aux autorités de l'État, en matière d'évaluation de la sûreté des systèmes nucléaires militaires, des installations nucléaires de bases secrètes et des transports intéressant la défense. Les activités sont centrées sur l'expertise des documents de sûreté, l'analyse de l'expérience d'exploitation, l'évaluation des plans d'urgence interne ainsi que sur la préparation de l'organisation de crise.

Protection et contrôle des matières

Les activités de l'IRSN sur ce thème portent d'une

part sur l'évaluation du niveau de protection des matières nucléaires à l'égard du risque de vol ou de détournement à des fins malveillantes, d'autre part sur le respect des engagements internationaux de la France dans l'utilisation des matières pouvant servir à la fabrication des armes nucléaires et chimiques.

Dans ce cadre, l'Institut apporte son concours technique direct aux pouvoirs publics (inspections nationales, accompagnement d'inspections internationales, missions à caractère opérationnel) et son appui technique aux autorités administratives (expertise de dossiers, contribution à l'élaboration de doctrines et de règlements).



Protection des installations et des transports contre la malveillance

Ce programme vise à prendre en compte des actions de malveillance dans la conception et l'exploitation des installations nucléaires. Il porte également

sur l'évaluation des conséquences potentielles pouvant résulter d'actions de malveillance sur des emballages de transport de matières nucléaires ou radioactives.

Protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants

Surveillance de l'environnement

Le but de ce programme est de connaître en permanence les niveaux de radioactivité auxquels les populations sont soumises, d'en déterminer l'origine et de détecter précocement toute élévation anormale des champs de rayonnement ambiants dans les différents milieux.

Sûreté de la gestion des déchets

Les activités relevant de ce domaine visent à apprécier les risques associés aux déchets radioactifs et à identifier le cas échéant des possibilités d'amélioration de leur gestion, du point de vue de la sûreté et de la radioprotection. Les actions de ce programme sont relatives :

- à la connaissance des matières et matériaux sans emploi, des déchets et des colis ;
- aux stockages et aux entreposages de déchets radioactifs quels que soient leur origine, leur activité ou les radionucléides concernés ;
- à la gestion des sources usées ;
- aux sites pollués.

Elles concernent l'évaluation des dossiers des exploitants, l'élaboration des doctrines techniques ainsi que les études et recherches destinées à comprendre les événements pouvant affecter la sûreté des stockages.

Risques chroniques

Ce programme contribue à l'évaluation des effets d'une exposition chronique à des contaminants radioactifs. Bien qu'il s'agisse de risques faibles pour un individu donné, ces risques s'appliquent à de vastes populations humaines et à de vastes écosystèmes, ce qui pourrait induire des conséquences notables au plan collectif. Affiner leur évaluation peut donc avoir un intérêt dans une perspective de gestion sanitaire ou de gestion de l'environnement.

Radioécologie

Les recherches et études menées au sein de l'IRSN contribuent à la connaissance et à la compréhension de l'origine et du devenir des radionucléides, rejetés ou préexistants dans l'environnement. L'objectif est d'évaluer leur impact radiologique, en cas de fonctionnement normal, d'incident ou d'accident. Au plan opérationnel, il s'agit de préparer la gestion de la crise, grâce à des outils d'aide à la décision : prédiction des rejets et de leur évolution, réhabilitation de l'environnement proche et lointain d'un site accidenté, etc.

Radon

Depuis plus de vingt ans, l'IRSN étudie le radon



sous tous ses aspects : formation et migration dans le sol, exhalation puis dispersion dans l'atmosphère, métrologie, cartographie, accumulation dans les bâtiments, risque pour la santé, réduction des concentrations, etc. Les connaissances et l'expérience acquises, sans équivalent en France, permettent à l'IRSN d'apporter son appui aux pouvoirs publics engagés dans une politique de gestion du risque lié au radon et aux acteurs chargés de l'appliquer.

Radioprotection des travailleurs

La finalité du programme est d'identifier les situations les plus critiques et d'analyser les moyens de diminuer les expositions. Ce programme regroupe les actions de l'IRSN concernant les expositions (internes et externes) des travailleurs dans les installations nucléaires, les autres installations et les postes de travail qui conduisent à des expositions aux rayonnements ionisants.

Radioprotection dans le domaine médical

Les expositions médicales constituent la source principale d'exposition de la population aux rayonnements ionisants d'origine artificielle. Ces expositions peuvent présenter des risques pour les praticiens exposés de façon répétée et pour les patients exposés également de façon répétée. Ce programme de l'IRSN se décline selon trois axes :

- expertise médicale ;
- épidémiologie des expositions médicales ;
- recherches sur les complications tardives chez des patients traités par radiothérapie.

Évaluation de l'exposition et équipements de protection

Ce programme vise à améliorer la connaissance de l'exposition des individus en situation normale et à réaliser des expertises dosimétriques dans des situations complexes, selon plusieurs axes de travail :

- expertise en radioprotection et épidémiologie des populations ;
- dosimétrie, moyens de mesure en routine ;
- dosimétrie, moyens de mesure en développement.

Doctrine en radioprotection

La doctrine en radioprotection s'élabore au niveau international dans diverses instances à caractère scientifique, technique ou réglementaire (CIPR, AEN, AIEA, Euratom, etc.).

L'évolution de la doctrine, l'engagement de nouveaux sujets de réflexion dans ces instances et la construction d'un dialogue avec l'ensemble des acteurs français concernés par la radioprotection, autour de l'intervention des experts de l'IRSN dans ces instances, constituent les enjeux de ce programme.

Agressions et situations de crise

Incendie, explosion et dispersion

Ce programme couvre les activités de l'IRSN dans le domaine de la maîtrise des risques liés à l'incendie, à l'explosion et à l'aérodispersion des polluants radioactifs ou toxiques dans les installations et

dans l'environnement. Les études, recherches et expertises relevant de ce programme ont pour but de contribuer à l'amélioration du niveau de sûreté des installations et donc à une meilleure protection du public, des travailleurs et de l'environnement.



Agressions d'origine naturelle

Les actions menées par l'IRSN visent à évaluer la sûreté des installations face à des agressions d'origine naturelle (séismes et inondations) et à identifier, le cas échéant, des possibilités d'amélioration. Ce programme porte sur :

- l'expertise sur les risques d'inondation et d'étiage sévère qui peuvent affecter les installations nucléaires ;
- la compréhension des phénomènes qui régissent l'évolution morphologique et géologique des sites ;
- le développement, l'optimisation et la validation des méthodes et des outils permettant l'évaluation de l'aléa sismique.

Gestion des situations d'urgence, gestion du risque

L'IRSN assure le maintien opérationnel et améliore ses moyens (Centre technique de crise, moyens mobiles), pour être en mesure d'apporter son assistance aux pouvoirs publics en cas de situation accidentelle ou post-accidentelle en France. L'IRSN prépare des scénarios accidentels et participe à des exercices de crise. Cette activité permet d'entraîner ses équipes en interaction avec les autres acteurs de la crise, d'animer des exercices au niveau national et de préparer des scénarios à vocation nationale ou internationale. Le retour d'expérience, dans ce domaine, est un facteur de progrès essentiel.

Ce programme se décline en deux axes :

- études et développements, exercices de crise ;
- maintien opérationnel du Centre technique de crise et de ses moyens mobiles.

Gestion des situations post-accidentelles

La gestion post-accidentelle d'une crise nucléaire ou radiologique peut concerner un grand nombre d'acteurs

appelés à gérer simultanément et dans la durée de multiples volets interdépendants : protection radiologique et suivi sanitaire des populations, réhabilitation des territoires, redéploiement des activités industrielles et agricoles, indemnisation des victimes, etc. Ce programme vise à mettre en place une organisation, des méthodes, une plate-forme d'outils techniques ainsi qu'un réseau de contacts extérieurs, afin de permettre à l'ensemble des partenaires d'assurer efficacement leurs missions.

Accidents d'irradiation

Lors d'une exposition accidentelle aux rayonnements ionisants, les équipes médicales doivent pouvoir, en un minimum de temps, évaluer les dommages subis par la personne irradiée afin d'établir un diagnostic fiable et de mettre en œuvre un protocole thérapeutique adapté. L'objectif de l'IRSN, en tant que support technique aux structures hospitalières, est d'améliorer le diagnostic, en mettant à profit une forte interface entre la dosimétrie, la recherche en biologie et les applications médicales.

Intervention et assistance en radioprotection

Ce programme couvre :

- les actions de contrôles, d'essais et d'expertises sur l'efficacité des circuits de ventilation et systèmes de filtration des installations nucléaires ;
- l'assistance et l'intervention en radioprotection opérationnelle, pour caractériser l'état radiologique de locaux ou de sites et concourir à la gestion des situations anormales ;
- les actions de contrôle selon le décret relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

Ces activités s'exercent dans le cadre de conventions avec les pouvoirs publics.



Formation, diffusion

Communication

Dans le cadre de ses missions, l'Institut contribue à l'information du public et des pouvoirs publics en matière de sûreté nucléaire et de protection de l'homme et de l'environnement. Il assure la diffusion des résultats scientifiques issus de ses programmes d'études et de recherche.

Enseignement et formation par la recherche

Les actions de formation permettent de formaliser, de valoriser et d'enseigner les savoirs de l'Institut. Elles passent par la mise en place de formations externes ou internes, la participation à des enseignements externes, l'encadrement de thèses ou de stages. Par ailleurs, la politique d'excellence scientifique et technique de l'IRSN vise l'atteinte du meilleur niveau d'excellence scientifique et technique possible dans l'ensemble de ses activités de recherche et d'expertise et la reconnaissance de cette excellence.

Assistance internationale, soutien aux programmes et accords

Les activités internationales de l'Institut concernent :

- des relations bilatérales avec ses homologues étrangers ;
- des relations avec les organismes internationaux ;
- une implication particulière dans les relations avec les institutions européennes ;
- des actions de soutien à des autorités de sûreté étrangères ;
- des contributions aux activités internationales des autorités de sûreté françaises.

Investissements : mise à niveau du réacteur CABRI

La remise à niveau de l'installation CABRI concerne le renforcement sismique des bâtiments et des équipements, la rénovation du circuit de ventilation et la mise en place d'une boucle à eau pressurisée en remplacement de la boucle à sodium. Une fois achevée, cette installation servira à pouvoir reproduire, dans le cadre du programme international CIP, les conditions thermohydrauliques d'un REP lors d'un accident de réactivité.

AMANDE

Cette nouvelle installation produira des faisceaux de neutrons monocinétiques de qualité métrologique, nécessaires pour l'étude et la caractérisation des détecteurs de neutrons pour les besoins de la radioprotection. Le projet AMANDE viendra renforcer les installations de référence déjà détenues par l'IRSN et lui permettra d'avoir des références primaires comparables à celles des grands laboratoires internationaux de métrologie.



14 %

part des recettes
externes de
cofinancement
des programmes
de recherche

6 200

mouvements de
sources enregistrés
en 2004

38 000

échantillons prélevés
dans l'environnement
par an

283

personnes ont
suivi une formation
en radioprotection
dispensée par l'IRSN

689 038

connexions sur le site
Internet IRSN

Recherche et missions de service public

Pour être en mesure d'effectuer une expertise pertinente, l'IRSN développe ses propres programmes de recherche. Il s'agit pour l'Institut d'anticiper les questions à venir sur l'évolution et la maîtrise des risques des activités nucléaires et de développer de nouveaux thèmes de recherche sur les accidents et la gestion de crise où l'IRSN apporte son concours aux pouvoirs publics. Les missions de service public de l'Institut couvrent également la veille en radioprotection, la contribution à la formation en matière de radioprotection ainsi que l'information du public.

> 30 Définition et mise en œuvre de programmes de recherche nationaux et internationaux



> 78 Contribution à la formation en radioprotection



> 81 Veille permanente en matière de radioprotection



> 84 Information du public





Évaluation des systèmes programmés.

Définition et mise en œuvre de programmes de recherche nationaux et internationaux

Les activités de recherche menées à l'IRSN doivent poursuivre plusieurs objectifs : des recherches finalisées qui n'excluent pas la recherche de base, des recherches au service de l'expertise, une complémentarité entre l'expérimentation, la modélisation et l'interprétation. Les programmes de recherche développés par l'Institut privilégient les collaborations nationales et internationales, par l'accueil de thésards, le développement de programmes en partenariat et la création d'unités mixtes de recherche.

Appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation

L'IRSN mène des actions de recherche et développement dans le domaine des méthodes de contrôles non destructifs et en matière d'évaluation des recherches sur les systèmes programmés. Ces actions viennent en appui à ses travaux d'expertise.

Contrôles non destructifs

Les contrôles des matériels, par ultrasons et courants de Foucault, visent principalement à :

- développer des méthodes nouvelles à caractère démonstratif, comme l'utilisation de capteurs ultrasons multiéléments, adaptables en temps réel aux formes complexes des composants. Il s'agit de travaux destinés à montrer la faisabilité et l'intérêt de ces méthodes, en amont de l'industrialisation ;
- mettre au point des logiciels de simulation de ces méthodes qui permettront de prévoir leurs performances et ainsi d'améliorer leur utilisation industrielle.

L'année 2004 a été consacrée à la démonstration du bon fonctionnement de capteurs souples sur des matériaux à gros grains ou fissurés.

Évaluation des systèmes programmés

La puissance des calculateurs permet aux concepteurs de produire des logiciels de plus en plus élaborés. Il en résulte une difficulté croissante à valider leur conception. L'IRSN mène un effort constant pour améliorer ses méthodes et ses outils d'évaluation des systèmes programmés. Concernant l'analyse de la couverture des tests de validation, l'IRSN a fait développer l'outil GATEL par le CEA. Les résultats de cette action ont servi en particulier à l'analyse du système de protection du réacteur EPR, réalisée en 2004. Par ailleurs, les systèmes qu'EDF a prévu d'utiliser pour ce réacteur sont multitâches et introduisent donc un facteur de complexité supplémentaire : l'IRSN a commencé en 2004 l'étude d'un outil de vérification

63
thèses en cours

16
post-doctorants
par an

37
docteurs d'État
habilités à diriger
des recherches

349
communications
dans des congrès

26
ICPE
au titre du Code
de l'environnement



La centrale de Nogent-sur-Seine (Aube).



Couvercle de cuve à la centrale de Civaux (Vienne).

des règles de conception et des propriétés de synchronisation de logiciels multitâches qui faci-

terait la détection de comportements non sûrs lors d'analyses de tels systèmes.

Recherches sur le vieillissement des REP

L'IRSN a engagé en 2003 un programme expérimental visant à approfondir les connaissances en matière de corrosion sous contrainte des alliages utilisés pour le soudage des couvercles de cuve.

La fissuration sous contrainte des alliages à base de nickel des réacteurs a conduit en particulier EDF à remplacer certains couvercles de cuve des réacteurs du parc électronucléaire français. La découverte récente de fissurations en Suède (tubulures de cuves), au Japon (liaison « bimétallique » du pressuriseur) et aux États-Unis (pénétrations

de cuves) montre qu'au-delà de la fissuration du métal de base il convient d'examiner la fissuration des matériaux de soudage. C'est pourquoi l'IRSN a engagé en 2003 un programme expérimental d'évaluation des vitesses de fissuration de l'Inconel 82 dans la boucle Venus du CEA. Les premiers résultats de ce programme, qui se terminera en 2007, ont été obtenus en 2004. Ces résultats seront comparés à ceux d'autres programmes expérimentaux internationaux. Ils permettront à l'Institut de mener ses expertises en tenant compte de données acquises en toute indépendance des exploitants et des constructeurs.

14

activités nucléaires autorisées au titre du Code de la santé publique

8

projets européens en cours en radioprotection et en sûreté

Accueil de

38

scientifiques étrangers

Le combustible et sa gestion en fonctionnement normal et accidentel

Le comportement du combustible fait l'objet de travaux de recherche importants à l'IRSN concernant essentiellement l'accident d'éjection d'une grappe de commande ainsi que les accidents de perte de réfrigérant primaire et de dénoyage des piscines de stockage du combustible irradié.

L'accident d'éjection de grappe de commande

L'étude du comportement du combustible en cas d'accident d'éjection d'une grappe de commande repose notamment sur des programmes expéri-

mentaux (programmes CABRI, essais analytiques) et des simulations (logiciel SCANAIR pour le calcul de thermomécanique du crayon).

Les programmes expérimentaux

En 2004, l'IRSN a mené de front la poursuite de l'interprétation des essais REP-Na réalisés de 1992 à 2002 dans la boucle à sodium de l'installation CABRI, ainsi que la définition des essais du programme international CABRI CIP (CABRI International Project), qui seront réalisés dans une nouvelle boucle à eau sous pression, en cours de construction (voir texte p. 32).

Pour les essais REP-Na, l'interprétation détaillée



Environnement du réacteur expérimental CABRI.

de l'essai REP Na-12 (crayon MOX irradié à 65 GWj/t, gainé en zircaloy) a permis de confirmer sa représentativité par rapport au cas d'un réacteur de puissance jusqu'à une valeur d'enthalpie maximale du combustible de 80 cal/g. Cet essai, qui n'a pas conduit à la rupture du crayon, a également permis d'étendre la qualification du logiciel SCANAIR.

Pour le programme CABRI-CIP, les études réalisées ont permis de conclure à la représentativité du canal d'essai, par rapport aux réacteurs de puissance. Le premier essai de qualification (CIP Q) de la série d'essais qui devrait se terminer en 2010 visera

à vérifier l'absence d'artefact lié au nouveau dispositif d'essai et à étudier les phénomènes physiques survenant après un échauffement significatif de la gaine (qui ne pouvait pas être simulé dans la boucle à sodium). L'élaboration de la matrice d'essai du programme CIP a été poursuivie et a fait l'objet d'études de définition détaillées. En complément à ce programme, l'IRSN examine les possibilités d'utilisation du réacteur japonais NSRR pour l'étude du comportement des gaz de fission présents dans le combustible irradié lors d'un transitoire de température.

FOCUS

MODÉLISATION DU COMPORTEMENT DU COMBUSTIBLE IRRADIÉ EN CAS D'ACCIDENT D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ (RIA)

L'étude du comportement des crayons combustibles irradiés en cas de RIA nécessite de tenir compte :

- de l'évolution de la microstructure du combustible (morphologie, hétérogénéités locales des pastilles de combustible et du gainage), résultant des effets de l'irradiation ;
- des effets locaux (interaction pastille-gaine, etc.).

L'une des difficultés majeures de la simulation de l'accident réside ici dans la coexistence d'échelles très différentes : le micron pour les microstructures (hydrures dans les gaines, bulles intragranulaires de gaz de fission dans les pastilles) et le mètre pour la hauteur des crayons.

Pour résoudre ces difficultés, la mise au point de modélisations très performantes s'est avérée nécessaire. Elles consistent, en utilisant des méthodes de changement d'échelle, à déterminer le comportement d'une microstructure donnée,

puis à introduire le résultat dans une représentation numérique plus globale des structures, comme celle utilisée dans le logiciel de calcul SCANAIR.

C'est notamment dans le cadre de deux thèses, cofinancées avec EDF, que ces méthodes ont fait l'objet de développements importants en 2004 avec par exemple l'élaboration d'une loi de comportement élastoplastique du zircaloy hydruré. Grâce à leur caractère général, les modèles mis au point peuvent aisément s'appliquer à différentes situations (évolution de la conception du combustible, modifications des conditions de fonctionnement, autres types de combustible), illustrant l'intérêt de ce développement en termes d'application industrielle.



Les spécialistes du logiciel SCANAIR.



Bac d'entreposage des dispositifs d'essais de l'installation CABRI.

La simulation

L'IRSN a poursuivi les développements du logiciel de calcul SCANAIR, destiné à la préparation, à l'interprétation des essais CABRI et à leur transposition à l'échelle des réacteurs de puissance. Ce logiciel modélise le comportement d'un crayon de combustible soumis à un transitoire de puissance. Le principal développement introduit dans le logiciel SCANAIR en 2004 est un modèle d'évaluation de la probabilité de rupture des gaines de crayons combustibles lors d'un tel transitoire, faisant appel aux outils de la mécanique de la rupture élastoplastique. Ce modèle exploite une analyse statistique de résultats d'essais mécaniques sur des gaines de combustibles irradiés afin de permettre une relation (probabiliste) entre la taille des défauts et le taux de combustion du crayon.

Un modèle représentant les échanges de chaleur entre les gaines et le réfrigérant a également été développé, validé et intégré dans le logiciel. Son originalité réside dans le fait qu'il traite, pour des échauffements très rapides (de l'ordre de 3 000 °C/s à 10 000 °C/s), tous les régimes d'échanges de chaleur, y compris après la crise d'ébullition.

La version 4 du logiciel SCANAIR, intégrant ces derniers développements, a été transmise à EDF, qui finance en partie ces développements dans le cadre de l'accord de recherche tripartite CEA-EDF-IRSN.

Par ailleurs, les travaux de modélisation détaillée du combustible irradié (cf. *Focus* p.32) se sont poursuivis. C'est sur cette base que seront établis les modèles qui viendront enrichir les futures versions de SCANAIR.

En termes d'applications, l'IRSN a utilisé le logiciel SCANAIR pour définir les conditions d'essais dans la future boucle à eau de CABRI et réaliser des études en soutien à l'expertise, sur des dossiers d'évolution des combustibles ou de leur gestion

en réacteur, présentés par EDF. Par exemple, ce logiciel est utilisé par l'IRSN pour apprécier le bien-fondé de l'un des critères (température de gaine) proposés par EDF pour assurer la tenue du combustible lors d'un accident de réactivité.

Les accidents de perte de réfrigérant primaire et de dénoyage des piscines

Les critères associés à l'accident de perte de réfrigérant primaire, destinés notamment à assurer que le cœur du réacteur reste « refroidissable » lors de ce transitoire, sont susceptibles d'être remis en cause par l'évolution des gestions de combustible (augmentation des taux de combustion) ou de nouvelles conceptions des crayons de combustible. De nombreux travaux sont réalisés sur les phénomènes mis en jeu (gonflement/rupture, oxydation, tenue à la trempe, etc.). L'IRSN a notamment effectué une étude d'opportunité du développement d'un outil évolué de calcul de l'accident et de la recherche associée, afin de modéliser finement ces phénomènes. Cette étude d'opportunité a permis de hiérarchiser les besoins et servira de base à l'élaboration du cahier des charges de cet outil. Par ailleurs, l'IRSN a procédé à la définition d'un programme d'études pluriannuel relatif aux accidents de dénoyage d'assemblages combustibles irradiés en cours de manutention ou dans les piscines d'entreposage (réacteurs de puissance et usines de traitement de combustibles irradiés). La définition de ce programme s'est notamment appuyée sur des calculs exploratoires, réalisés à l'aide du logiciel de calcul ICARE-CATHARE, sur le cas d'un accident de dénoyage dans la piscine d'entreposage d'un réacteur de 900 MWe.



Bac d'entreposage des dispositifs d'essais de l'installation CABRI.

Les travaux de modification de l'installation CABRI

Afin de permettre la réalisation d'essais dans des conditions thermohydrauliques représentatives d'un réacteur à eau, l'IRSN cofinance la mise en place d'une boucle à eau sous pression dans l'installation, en remplacement de la boucle à sodium, précédemment utilisée pour l'étude du combustible des réacteurs à neutrons rapides.

Les programmes de recherches menés dans le réacteur de recherches CABRI du CEA (Cadarache, Bouches-du-Rhône) sur le comportement des combustibles fortement irradiés permettent de recueillir des données expérimentales sur les effets d'une augmentation du taux de combustion de ces combustibles.

Les travaux d'implantation de la boucle à eau sont accompagnés d'une mise à niveau de la sûreté de l'installation. La jouvence de certains équipements est également prévue. En parallèle,

l'IRSN met au point un dispositif d'essai instrumenté destiné à recevoir les tronçons de crayon irradié soumis aux essais. Le programme international CABRI CIP actuellement en préparation dans la future installation devrait comporter douze essais à compter de fin 2008-début 2009,

à raison de trois à quatre essais par an en moyenne. La modification de l'installation a été soumise à enquête publique et à fait l'objet d'un rapport préliminaire de sûreté, qui a été transmis à la DGSNR (cf. Focus p.96).

Avancement des travaux

L'année 2004 a été consacrée à l'assainissement de l'installation, au démantèlement des anciens circuits, au conditionnement et à l'évacuation des équipements liés à l'exploitation de la boucle à sodium. Le système d'injection de réactivité a été démonté en vue de son optimisation et les équipements de la piscine du réacteur CABRI ont été retirés en vue du renforcement du bloc pile en 2005, pour assurer sa tenue aux séismes. Fin 2004, l'installation était prête à accueillir les premiers éléments de la boucle.

Avancement des études

La géométrie du dispositif d'essai a été figée et l'instrumentation correspondante qualifiée.

En parallèle, des spécifications techniques d'éléments clés de la future installation ont été rédigées (système d'injection de réactivité, équipements de suivi du combustible éjecté lors d'un essai, dispositif d'enrobage du crayon pour examen après essai, etc.).

Les partenaires nationaux et internationaux du programme expérimental prévu se sont réunis à deux reprises en 2004, afin de définir précisément la matrice des essais.



L'équipe SZIE CABRI et PHÉBUS du service d'ingénierie des supports de programmes expérimentaux à Cadarache (Bouches-du-Rhône).



L'équipe du logiciel ASTEC.



Le coordinateur SARNET entouré de deux de ses collaborateurs.

Travaux de recherche dans le domaine des accidents graves avec fusion du cœur

Le programme d'études et de recherches mené par l'Institut dans le domaine des accidents avec fusion du cœur est articulé autour des principaux domaines physiques identifiés à partir des scénarios d'accident et des possibilités de limitation des conséquences.

La démarche retenue dans ce programme est fondée sur l'établissement de scénarios accidentels, l'identification des phénomènes physico-chimiques, la réalisation d'expériences à effets séparés pour la détermination des données de base et la mise au point de modèles mathématiques élémentaires, l'écriture de logiciels de calcul intégrant ces modèles et ces données ainsi que leur qualification sur des expériences plus globales.

2004, naissance du réseau européen SARNET

L'importance des moyens humains, techniques et financiers à mettre en œuvre pour approfondir les questions relatives aux accidents graves et l'intérêt de partager les connaissances acquises incitent l'Institut à rechercher des partenariats nationaux et internationaux. Le réseau d'excellence européen SARNET, mis en place dans le cadre du 6^e PCRDT de la Commission européenne, en est une illustration. Ce réseau a démarré son activité le 2 avril 2004. Coordonné par l'IRSN, il rassemble 49 organismes issus de 18 pays européens impliqués dans la recherche sur la sûreté des réacteurs nucléaires (instituts de sûreté, universités, industriels, etc.).

Les objectifs de ce réseau sont de :

- mieux coordonner les capacités de recherche européennes sur les accidents avec fusion de cœur ;
- contribuer à réduire le manque de connaissances dans ce domaine, en conduisant des programmes de recherche communs appropriés ;
- intégrer le meilleur état des connaissances dans des outils informatiques performants pour l'évaluation de la sûreté des réacteurs électro-nucléaires en Europe, notamment dans le cadre d'études probabilistes de sûreté ;
- diffuser la connaissance et former de nouveaux experts dans ce domaine.

En 2004, ont été réalisés :

- le développement et le déploiement de la plateforme de communication par Internet ACT (Advanced Communication Tool). Elle donne accès à l'ensemble des informations relatives à la vie du réseau (documents, annonces d'événements, de séminaires ou de réunions, etc.) ; elle permet de collecter des avis (forums de discussion, questionnaires, etc.) et d'élaborer des documents en commun. Elle fournit un accès au logiciel ASTEC et aux bases de données expérimentales du réseau ;
- la transmission de la version V1.1 du logiciel ASTEC à 25 organismes partenaires du réseau à l'occasion de la session de formation à son utilisation organisée par l'IRSN en juin 2004. Une matrice de qualification ainsi qu'une matrice d'évaluation du logiciel ont été définies et les travaux correspondants ont été engagés ;
- le début des échanges d'informations entre



Four Intermezzo pour les essais BECARRE.

partenaires. Plusieurs cercles d'experts ont été créés et plus d'une douzaine de réunions de travail ont été organisées avec pour objectif l'élaboration de positions communes sur la phénoménologie des accidents graves, leur modélisation, les méthodes d'évaluation de leurs conséquences et les besoins prioritaires en termes de recherche ;

■ la structuration de la base de données expérimentales DATANET construite selon la solution technique développée par le Centre commun de recherche d'ISPR. Elle consiste en un réseau de bases de données développées par certains organismes européens sur différents sites auxquelles il est possible d'accéder par Internet.

FOCUS

PROGRAMME TERME SOURCE

L'IRSN a élaboré en 2004 un nouveau programme, appelé TERME SOURCE, dont l'objectif est de réduire les incertitudes concernant l'évaluation des rejets de produits radioactifs dans l'environnement en cas d'accident de fusion du cœur d'un réacteur à eau.

Parmi ces rejets appelés « TERME SOURCE », l'iode et le ruthénium sont des produits radioactifs qui présentent des risques importants pour les populations exposées. Les études réalisées sur le « TERME SOURCE » depuis plus de vingt ans, ainsi que l'analyse des essais du programme PHEBUS-PF ont montré que des incertitudes significatives subsistaient (par exemple un facteur 10 sur les concentrations en iode organique dans l'enceinte de confinement, cette forme chimique de l'iode n'étant quasiment pas retenue, par exemple par le filtre à sable, en cas de dépressurisation contrôlée de l'enceinte).

En 2004, l'IRSN a élaboré, en concertation avec ses partenaires principaux CEA et EDF, un document décrivant le programme envisagé sur la période 2005-2010 et estimé son coût pluriannuel. Sur le plan technique, les différents axes d'expérimentation IRSN du programme ont progressé : ainsi le programme EPICUR sur la formation d'iode organique sous rayonnement gamma s'est poursuivi par la fin de la réalisation du dispositif expérimental, et la stratégie scientifique et technique du programme CHIP sur la chimie de l'iode hors équilibre a été précisée.

Le premier volet du programme TERME SOURCE concernera la chimie de l'iode dans le circuit primaire (CHIP) et dans l'enceinte de confinement (EPICUR). Dans le circuit primaire, une attention particulière sera portée à la chimie hors équilibre (CHIP). Le deuxième volet concernera l'effet sur le déroulement d'un accident grave de la dégradation des barres de commande en carbure de bore (B_4C), dont sont munis les réacteurs les plus récents du parc français, ainsi que les réacteurs bouillants en service en Europe (essais BECARRE).

Le troisième volet s'intéressera aux conséquences d'une dégradation d'éléments combustibles au contact de l'air en cas de percée de la cuve du réacteur après fusion d'une partie du cœur ou de dénoyage d'une piscine d'entreposage, en particulier au relâchement et au comportement chimique du ruthénium (essai de relâchement de produits de fission dans l'installation VERDON du CEA et essais dans EPICUR). Par ailleurs, une bonne prédiction du déroulement de l'accident de dénoyage d'une piscine d'entreposage nécessite de mieux connaître l'oxydation des gaines sous air (essais MOZART).

Le quatrième volet concernera les relâchements de produits de fission à partir du combustible. Un programme de micro-analyses sur du combustible irradié et du combustible ayant subi des essais de relâchement (VERCORS) permettra de valider l'interprétation actuelle des relâchements mesurés dans les essais déjà réalisés. En complément, il est prévu de réaliser trois essais supplémentaires de relâchement dans l'installation VERDON du CEA sur des combustibles MOX et du combustible UO_2 à fort taux de combustion.



Mise en place de la section d'essai dans le four Intermezzo.

L'IRSN poursuit le codéveloppement du logiciel ASTEC avec son homologue allemand de la GRS avec l'objectif d'en faire la référence européenne en matière de logiciel d'accidents graves.

Les informations publiques relatives au réseau sont accessibles sur le site Internet www.sar-net.org, ouvert tout début 2005.

Études et recherches sur les accidents graves menées en 2004

Dégradation du cœur et comportement du corium en cuve

Cette phase de l'accident est étudiée à l'aide du logiciel ICARE/CATHARE développé par l'IRSN. La version V1 a été utilisée dans le cadre de l'EPS pour l'étude des brèches du circuit primaire induites par une fusion du cœur en pression et a servi à interpréter les résultats des essais allemands QUENCH réalisés avec des barres de commande en carbure de bore.

La version V2 qui permet de calculer en bidimensionnel la thermohydraulique et les mouvements de matériaux du cœur a été livrée en 2004.

Le comportement des produits de fission

L'étude du comportement des produits de fission a été dominée ces dernières années par le programme international PHEBUS-PF. Le dernier essai de la série, FPT-3, a été réalisé en 2004 (*cf. Focus p. 38*). Des discussions ont été menées sur la suite à donner aux recherches sur le comportement des produits de fission en situation d'accident avec fusion du cœur. Elles ont conduit l'IRSN à bâtir un nouveau programme, intitulé TERME SOURCE, dont l'objectif est de réduire les incertitudes concernant l'évaluation des rejets de produits radioactifs dans l'environnement. L'année 2004 a été consacrée à l'identification des besoins, à l'établissement des priorités du programme, à la définition de son

Qu'est-ce qu'un accident grave ?

Un accident grave a pour origine un défaut de refroidissement du cœur par l'eau qui ne permet plus d'évacuer la puissance produite dans le réacteur y compris après l'arrêt de la réaction en chaîne (puissance dite résiduelle).

En une à quelques heures, des défaillances multiples humaines ou matérielles incluant l'échec des procédures de sauvegarde peuvent conduire à la dégradation du combustible et à sa fusion. Des phénomènes complexes se déroulent alors, dont l'impact dépend des conditions initiales de l'accident et des actions des opérateurs. L'accident peut se décrire en quatre grandes phases :

- Sous l'effet de la puissance résiduelle, les combustibles présents dans le cœur du réacteur perdent leur intégrité, libèrent l'hydrogène suite à l'oxydation par la vapeur d'eau des gaines entourant le combustible et émettent des produits de fission dans l'enceinte de confinement ;
- Si de l'eau n'est pas injectée dans la cuve, le cœur fond et la masse de matériaux fondus ainsi créée (appelée corium) finit par attaquer le fond de la cuve puis par le percer. Durant cette phase avancée de dégradation, une explosion de vapeur pourrait se produire ; l'enceinte de confinement pourrait également être sollicitée par les effets de l'hydrogène présent (déflagration et/ou détonation). Les structures du réacteur peuvent être par ailleurs soumises aux effets d'une explosion de vapeur résultant d'une interaction corium-eau avant et après le percement de la cuve.
- Dans le cas particulier d'une percée de la cuve sous pression, l'éjection du corium pourrait conduire à un échauffement direct de l'atmosphère de l'enceinte de confinement ;
- Sous l'effet de la chaleur libérée par le corium, le béton du radier situé sous la cuve va subir une dégradation thermique qui aura pour conséquence de libérer différents gaz, qui, ajoutés à la vapeur d'eau déjà créée, entraîneront une augmentation progressive de la pression dans l'enceinte ;
- Une certaine quantité de produits de fission émise durant la 1^{re} phase (principalement les gaz rares, l'iode, le césium) peuvent sortir de l'enceinte soit en raison de son taux de fuite, soit à la suite d'actions délibérées des opérateurs.

Un tel accident peut donc conduire à des rejets radioactifs⁽¹⁾ importants dans l'environnement.

(1) Ces rejets sont encore appelés « TERMES SOURCES ».



Réacteur PHÉBUS : aire de stockage à sec des dispositifs d'essai.

FOCUS

FPT-3 : DERNIER ESSAI DU PROGRAMME PHEBUS-PF

Le programme PHEBUS-PF a comporté au total cinq expériences globales à échelle réduite (1/5 000)

au cours desquelles ont été étudiés le relâchement des produits de fission et des matériaux de structure au cours de la fusion d'une grappe de crayons irradiés, le transport de ces produits dans le circuit primaire ainsi que leur comportement dans l'enceinte de confinement, dans des conditions thermohydrauliques et physico-chimiques représentatives d'un accident grave. Les résultats obtenus servent à la qualification des logiciels ASTEC et ICARE-CATHARE.

Le cinquième essai du programme a été réalisé avec succès le 18 novembre 2004. Il visait à vérifier, sur un essai global, que les logiciels de calcul utilisés pour les études de sûreté simulaient correctement les mécanismes de dégradation d'un cœur de réacteur à eau équipé de barres de commande en carbure de bore et le « TERME SOURCE » associé.

Le cœur était simulé par une grappe de 20 crayons en UO_2 (18 irradiés et 2 non irradiés et instrumentés) entourant un crayon en carbure de bore (B_4C), refroidie par un faible débit de vapeur d'eau représentatif de celui d'un accident de fusion de cœur. L'augmentation de puissance dans la grappe provoque un emballement de la réaction d'oxydation des gaines, la rupture du crayon en B_4C et son oxydation. Celle-ci produit de l'hydrogène, de l'acide borique ainsi que des gaz carbonés pouvant avoir un impact significatif sur la chimie des produits de fission, en particulier sur les formes chimiques de l'iode présentes dans l'enceinte de confinement. Ces émissions de gaz ont été détectées en ligne. La puissance a été ensuite augmentée jusqu'à observer un mouvement du combustible suite à sa liquéfaction conduisant à l'arrêt de l'essai suivant les critères prédéfinis.

Les produits de fission et matériaux de structure relâchés dans le circuit simulant le circuit primaire d'un REP et dans le réservoir simulant l'enceinte de confinement ont fait l'objet d'un suivi. Des mesures par spectrométrie en ligne et des prélèvements de vapeurs et aérosols ont été effectués. Dans l'enceinte de confinement, l'expérimentation s'est poursuivie durant quatre jours, pour étudier le comportement des produits de fission, plus particulièrement celui de l'iode gazeux.



Salle de commande du réacteur PHÉBUS lors de l'essai du 18 novembre 2004 à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Une analyse succincte et rapide des mesures effectuées en ligne lors de l'essai FPT-3 ainsi que des premiers examens non destructifs de la grappe combustible permettent de supposer que la présence d'une barre de commande en carbure de bore a influencé de manière significative la dégradation du combustible.

Ils permettent également de supposer que les mélanges liquides résultant de la dégradation de la barre de commande ont accéléré la dissolution du combustible. La forte oxydation du carbure de bore en conditions d'accident grave est aussi observée. Tout cela reste bien sûr à confirmer.

Plusieurs partenaires du programme PHÉBUS (IRSN, GRS, PSI) ont par ailleurs déjà réalisé des calculs pour retrouver les résultats de l'essai.

Un essai PHEBUS en chiffres

- Environ 60 personnes ont participé à l'essai.
- Durée de l'essai : cinq heures pour la dégradation du combustible puis 4 jours de suivi du comportement des produits de fission.
- De cinq à six ans pour analyser les données et interpréter l'essai.

contenu technique ainsi qu'à l'évaluation de l'échéancier associé et de son coût (*cf. Focus p. 36*). Le programme proposé sera cofinancé et réalisé dans un cadre tripartite IRSN-EDF-CEA. Il est d'ores et déjà soutenu, au plan international, par la Commission européenne et l'USNRC.

La tenue du confinement

Concernant les explosions d'hydrogène, l'IRSN a poursuivi le développement et la qualification de ses outils de calcul, parmi lesquels le logiciel TONUS. Cela s'est traduit par sa participation à l'ISP 47 et par la réalisation d'un programme d'essais de combustion hautement instrumentés, mené en collaboration avec le CNRS à Orléans. TONUS est également qualifié sur les résultats du programme TOSQAN pour la distribution de l'hydrogène dans l'enceinte de confinement (*cf. Focus p. 39*). L'IRSN a également réalisé les expériences analytiques RECI qui avaient pour but d'évaluer l'effet des recombineurs catalytiques d'hydrogène sur les formes de l'iode présent dans l'enceinte de confinement. Ces expériences ont permis de déterminer, en 2004, les taux de conversion d'iodure de césium et de cadmium en iode gazeux. Par ailleurs, l'Institut a réalisé un ensemble d'études en support à l'analyse du dimensionnement des recombineurs des réacteurs de type P'4 (1300 MWe). Concernant les risques d'explosion de vapeur, l'IRSN a réalisé, dans le cadre de l'action SERENA de l'OCDE-AEN, des études sur les interactions corium-eau dans la cuve et dans le puits de cuve ainsi qu'un important travail de comparaison des



Étude sur la tenue du confinement.

FOCUS

PROGRAMME TOSQAN

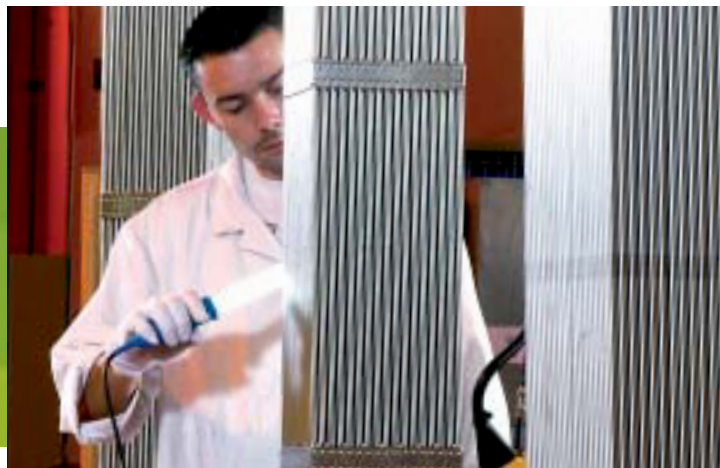
L'année 2004 a vu l'achèvement de la phase d'essais de « condensation de vapeur d'eau » du programme TOSQAN et leur interprétation.

Une analyse détaillée de l'ensemble des résultats de ces essais a été réalisée. Elle a notamment examiné l'influence de nombreux paramètres intervenant dans les modèles de condensation des codes de thermohydraulique dans l'enceinte de confinement, afin d'en apprécier les limites et la sensibilité aux paramètres physiques étudiés. Ces modèles, généralement développés à partir d'expériences de laboratoire, ont ainsi été validés à une échelle plus industrielle. Des investigations complémentaires restent à mener dans le cas d'atmosphères stratifiées.

Les essais d'aspersion ont débuté au cours de l'année 2004, après réalisation de pré-calculs. Un essai de référence a été réalisé dont les résultats contribuent au développement d'un exercice de comparaison international. En parallèle, des essais d'aspersion spécifiques ont été effectués afin de qualifier une technique optique innovante de mesure non intrusive de la température des gouttes appelée « réfractométrie arc-en-ciel global », développée dans le cadre d'une thèse. Cette technique a été couplée à d'autres méthodes optiques telles que la spectrométrie par diffusion Raman spontanée, la PIV et une technique d'imagerie permettant de mesurer les fractions de vapeur, les vitesses et les tailles des gouttes. Les résultats acquis ont permis de réaliser des analyses globales et locales des interactions entre les gouttes d'aspersion et le mélange air/vapeur, mettant en évidence les phénomènes de condensation sur les gouttes et d'évaporation.



Appareillage pour les mesures laser, une nouvelle technique : la réfractométrie arc-en-ciel.



Contrôle visuel d'un assemblage combustible à l'usine de Romans (Drôme).

modèles des différents logiciels utilisés par les partenaires de cette action. Des évaluations ont été menées sur le risque de perte d'étanchéité de l'enceinte de confinement d'un réacteur de 900 MWe par le déplacement des planchers qui pourrait résulter d'une explosion de vapeur hors de la cuve.

Le programme expérimental sur l'échauffement direct de l'atmosphère de l'enceinte d'un réacteur de type P'4, mené en collaboration avec FZK dans l'installation DISCO, s'est poursuivi avec la réalisation d'une série d'essais à basse température et les premiers essais à haute température.

Sûreté des usines, des transports et du démantèlement

Les travaux de recherche et d'études menés par l'IRSN dans le domaine de la sûreté des usines, des transports et du démantèlement concernent notamment les risques de criticité et de dispersion de matières radioactives hors des enceintes de confinement.

Études et recherche en criticité

Le risque de criticité, c'est-à-dire de déclenchement intempestif d'une réaction neutronique en chaîne, est présent à toutes les étapes du cycle du combustible, depuis l'enrichissement de l'uranium en uranium 235, l'entreposage et le transport des combustibles, la valorisation des matières issues du retraitement des combustibles usés jusqu'à l'entreposage des déchets produits. La prévention de ce risque consiste à déterminer les conditions qui permettent d'assurer la sous-criticité lors de ces opérations. Par ailleurs, il est indispensable de connaître les conséquences pouvant résulter d'un accident de criticité. Dans ces domaines, l'Institut mène des études et des recherches pour disposer d'outils de calcul performants avec le meilleur degré de qualification possible.

Les études qui permettent d'évaluer le risque de criticité font appel à des logiciels de calcul utilisant

des bibliothèques de données nucléaires (sections efficaces). Ces logiciels doivent pouvoir résoudre des problèmes de neutronique très différents les uns des autres en raison de la diversité des milieux fissiles rencontrés et de la géométrie des appareillages qui les contiennent. Dans le cadre du projet CRISTAL (cf. *Focus* p. 41), l'Institut développe un logiciel de simulation multigroupe de transport des neutrons à trois dimensions, dénommé MORET 4. En 2004, ce logiciel a fait l'objet de nouveaux développements de ses algorithmes pour les modèles physiques, mathématiques et statistiques. Des publications internationales et les nombreuses formations mettent en avant la puissance de ce logiciel, particulièrement bien adapté aux besoins des études de criticité.

L'utilisation de logiciels de simulation fondés sur la méthode de Monte-Carlo reste toutefois délicate pour le calcul de situations particulières dans lesquelles des matières fissiles non regroupées interagissent. L'IRSN a contribué à l'amélioration de ces méthodes de calcul en participant aux travaux d'un groupe de travail coordonné par l'OCDE-AEN ; des travaux de thèse sont menés pour réduire les incertitudes et les biais des calculs de simulation employés pour l'évaluation des risques de criticité par l'amélioration des méthodes statistiques



Illustration de modélisations pour les études de criticité.

utilisées. Par ailleurs, l'IRSN a poursuivi en 2004 l'amélioration de l'ensemble de ses outils de calcul de criticité en termes de capacité de modélisation de systèmes complexes et d'analyse détaillée des résultats de calcul, pour une meilleure connaissance des marges de sécurité.

La qualification de logiciels de calcul est obtenue par comparaison de données calculées avec ces logiciels à des données expérimentales. C'est pourquoi des études expérimentales de criticité sont menées dans le cadre de partenariats nationaux ou internationaux. Elles consistent à réaliser en vraie grandeur des configurations aux caractéristiques chimiques, géométriques et neutroniques connues, très proches de l'état critique. Ces expériences sont ensuite reproduites par calcul. Les comparaisons entre calculs et expériences permettent d'apprécier et de chiffrer les écarts et les biais et de déterminer les marges de sécurité à considérer dans les études de criticité. Ainsi en 2004, l'Institut a achevé la réalisation du programme expérimental « Produits de fission » mené dans le cadre d'un PIC avec COGEMA. Ce programme expérimental mis en place en 1995 a comporté plus de 170 expériences critiques dont les dernières, réalisées en avril 2004, visaient à représenter une situation réaliste de dissolution de crayons REP d'oxyde d'uranium irradiés. Fin 2004, l'IRSN a réalisé un programme expérimental permettant de mesurer très précisément l'évolution des propriétés de criticité du plutonium en fonction de son vieillissement dans le laboratoire de criticité du CEA à Valduc (Côte-d'Or).

Par ailleurs l'IRSN a mené des réflexions sur la mise en place des programmes suivants :

- programme EFFET DE TEMPERATURE Pu destiné à la mesure expérimentale des effets de température pour des solutions de plutonium faiblement concentrées pour lesquelles l'effet global de

température pourrait devenir positif ;

- programme MATÉRIAUX DE STRUCTURE, conçu pour la qualification des caractéristiques neutroniques des éléments constitutifs de matériaux de structure (acier, béton, PVC, etc.) ;

FOCUS

CRISTAL V1.0 : LA NOUVELLE VERSION DU FORMULAIRE CRISTAL

La nouvelle version V1.0 du formulaire CRISTAL est opérationnelle depuis novembre 2004.

Ce formulaire, constitué d'un ensemble de logiciels de calcul, de bibliothèques de données nucléaires et de procédures de calcul permet d'effectuer tous les types de calculs nécessaires à l'analyse des risques de criticité d'installations nucléaires - hors réacteurs - et d'emballages de transport de matières radioactives. Il est développé et qualifié dans le cadre d'une collaboration entre l'IRSN, qui assure la direction du projet, le CEA et COGEMA.

Cette nouvelle version répond au besoin de calculer, sans conservatisme excessif, la criticité des emballages de transport, des installations d'entreposage et de traitement des combustibles usés, tout en conservant une approche enveloppe pour les études de sûreté. Pour ce faire, l'utilisateur de CRISTAL dispose des logiciels, des données nucléaires et des interfaces permettant le calcul de l'abondance des principaux radionucléides présents dans les combustibles usés. Ces calculs sont effectués par le logiciel CESAR développé par le CEA et COGEMA, pour différents types de combustibles en prenant en compte la façon dont ils ont été irradiés en réacteur et refroidis en piscine de désactivation.

Le formulaire CRISTAL est qualifié par la confrontation entre calculs et expériences. Fin 2004, 1300 expériences critiques ont été modélisées et calculées avec CRISTAL ; parmi celles-ci, 230 sont représentatives des combustibles usés, certaines avec des produits de fission, ce qui constitue une avancée unique au monde.

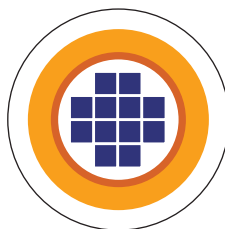


Banc d'essais STARMANIA à Saclay (Essonne).

En configuration transport



TRANSPORT



En configuration entreposage

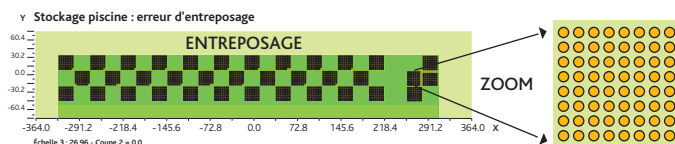


Illustration de modélisations pour les études de criticité.

■ programme pour la qualification expérimentale des configurations utilisant des milieux fissiles MOX faiblement modérés.

De plus, l'Institut a poursuivi sa participation active au projet international ICSBEP. Sous l'égide de l'OCDE/AEN, ce projet permet de mettre en commun les expériences de criticité réalisées dans le monde et d'obtenir des données expérimentales de qualité, utilisables pour la qualification des outils de calcul.

Un accident de criticité se traduit par un dégagement d'énergie, essentiellement sous forme de chaleur, accompagné d'émissions intenses de rayonnements neutroniques et gamma. En 2004, l'Institut a mené des études d'accidents de criticité pour des emballages de transport afin d'évaluer les conséquences et les possibilités d'intervention. Une collaboration avec l'Imperial College, appui technique de l'autorité de sûreté britannique, a été initiée sur ces sujets.

Dispersion des radionucléides

En support à l'expertise des risques de dispersion de matières radioactives ou toxiques hors des enceintes de confinement, l'IRSN réalise des études et des expériences correspondant à différentes situations accidentelles envisageables.

Afin de pouvoir réaliser des évaluations plus réalistes des rejets de radionucléides, des travaux ont été réalisés pour mieux apprécier les transferts de gaz et de fines particules. Les résultats obtenus dans le cadre d'essais aérauliques en air sec sur des voiles en béton fissurés (par exemple lors d'un séisme) ont permis de proposer une loi d'écoulement dans les fissures plus appropriée que les modèles existants. Le travail se poursuit pour traiter les mélanges air/vapeur et la rétention des aérosols.

Des expérimentations à échelle 1 dans l'installation STARMANIA ont permis d'obtenir des données sur les comportements aérauliques et mécaniques des équipements de sectorisation contre l'incendie (portes et clapets coupe-feu) soumis à des contraintes de pression et de température représentatives de feux en milieu confiné.

Des travaux de modélisation visant à déterminer l'efficacité de filtres à très haute efficacité montés en série ont été réalisés. Les modèles de calculs correspondants feront l'objet d'une validation expérimentale. Des travaux ont aussi été menés sur l'efficacité de piégeage de zéolithes pour certains gaz.

En 2004, un programme a été engagé pour enrichir les connaissances sur l'influence des effets du vent sur les rejets accidentels, en cas de défaillance totale ou partielle de la ventilation d'une installation. Ce programme comprend la réalisation d'essais en soufflerie sur des maquettes représentatives d'installations nucléaires.



Forage à sec dans une galerie du tunnel expérimental de Tournemire (Aveyron).

Les travaux de recherches dans le domaine des déchets

Dans le domaine des déchets, en particulier de leur stockage, l'IRSN a principalement porté son effort en 2004 sur la gestion des déchets de haute activité et à vie longue (HAVL), compte tenu de l'échéance proche du rendez-vous parlementaire prévu par la loi de décembre 1991.

Stockage en couche argileuse

Les travaux ont concerné principalement le stockage des déchets HAVL dans une couche géologique argileuse profonde. Ils ont comporté des développements de modèles numériques et leur validation par des essais de laboratoire ou de terrain.

Pour réaliser des expérimentations dans le domaine du stockage géologique, l'IRSN dispose d'un ancien tunnel ferroviaire creusé dans une épaisse couche d'argile (argilite) à Tournemire (Aveyron). Les similitudes entre l'argilite de Tournemire et les roches du laboratoire de l'ANDRA à Bure (Meuse) permettent à l'IRSN de mener dans ce tunnel des études à caractère méthodologique mais aussi phénoménologique.

L'étude des propriétés de confinement des argilites est abordée par la reconnaissance et la caractérisation des fractures et l'analyse des solutions interstitielles contenues dans les pores du matériau. L'analyse chimique et isotopique des fluides recueillis dans ces fractures permet de préciser leur origine et leur temps de résidence au sein du massif. La très faible teneur en eau des argilites a rendu nécessaire un développement méthodologique destiné à minimiser l'altération

des solutions interstitielles au cours de leur prélèvement. Une incidence des conditions d'extraction de ces eaux sur la composition isotopique a, en effet, été mise en évidence.

Caractérisation des zones perturbées par les creusements

Le creusement d'excavations crée généralement des perturbations du massif rocheux qui se traduisent par une augmentation de la perméabilité de l'argilite dans le voisinage de l'ouvrage. Cette zone perturbée ou endommagée (appelée EDZ : Excavation Disturbed Zone) peut évoluer dans le temps avec la ventilation des galeries et le fluage des argilites.

En 2004, dans le cadre du projet international DECOVALEX, l'IRSN a débuté un exercice de modélisation de l'EDZ autour des ouvrages de Tournemire. Ce projet se poursuivra jusqu'en 2006 et intégrera une confrontation des résultats des modélisations avec les caractéristiques déterminées *in situ*. L'évolution sur de longues périodes pourra être étudiée dans cet exercice puisque le site de Tournemire possède des ouvrages d'âges très différents (un an, huit ans et cent dix ans). Une campagne de caractérisation de l'EDZ par des forages radiaux autour des ouvrages de Tournemire a été mise en place, afin de disposer d'un jeu de données le plus complet possible pour le calage des exercices de modélisation. Les données recueillies permettront de mieux connaître la propagation dans l'espace et dans le temps de la zone perturbée. Des forages permettront de mesurer la perméabilité de cette zone ainsi que l'évolution



Instrumentation permettant de suivre l'évolution de la roche suite à un forage.

FOCUS

INNOVATIONS DANS LE LOGICIEL MELODIE

Le logiciel MELODIE de modélisation des transferts de radionucléides dans les formations géologiques a bénéficié en 2004 de deux évolutions importantes :

- La première a permis de simuler les phénomènes de transport des radionucléides par convection et diffusion dans des milieux géologiques hétérogènes, grâce à un nouveau schéma de calcul de type volumes finis.
- La seconde, tirant partie d'une nouvelle architecture multiprocesseurs performante, concerne la parallélisation de la résolution des équations de transport.

Ces évolutions représentent un intérêt majeur pour modéliser l'ensemble d'un site de stockage et évaluer l'impact dosimétrique en cas de relâchement d'un colis.



L'IRSN assure le développement et le maintien à niveau du logiciel MELODIE.

de la célérité des ondes ultrasoniques. Des mesures, notamment de teneur en eau et de porosité, réalisées sur les carottes prélevées au moment des forages, compléteront la caractérisation de la zone. Un essai dit « mine-by-test » (creusement dans une roche instrumentée pour en suivre la réaction hydromécanique), réalisé dans le cadre du projet européen NF-PRO (6^e PCRD), a permis en 2004 la collecte de résultats de mesure de déplacement, de déformation et de pression interstitielle. Les programmes d'interprétation et de simulation numérique de la réaction de la roche au creusement ont été élaborés.

Modélisation du comportement d'un stockage

Des études ont été réalisées en vue de décrire les comportements thermique, mécanique et chimique d'un stockage de déchets radioactifs, en prenant en compte les perturbations engendrées par la mise en place et la dégradation progressive des divers matériaux le constituant.

Ces études ont consisté notamment à :

- modéliser les interactions géochimiques liées à l'introduction d'eau oxydante au sein des argilites du Callovo-Oxfordien ainsi qu'à la présence de grandes quantités de béton, afin d'évaluer l'intensité et l'extension des perturbations correspondantes ;
- développer des modèles hydromécaniques du comportement des interfaces argilite/bentonite et argilite/ciment pour quantifier le rôle possible de ces interfaces sur les performances d'un scellement ;
- modéliser le comportement d'une clé d'ancrage d'un scellement de galerie de stockage afin d'évaluer les avantages et inconvénients d'un tel dispositif pour empêcher les écoulements au travers de la zone fracturée autour des excavations ;



Conditionnement et référencement de carottes d'argile prélevées à Tournemire (Aveyron).

- achever le développement d'un modèle de rupture différée de la zone fracturée autour des excavations dans les argilites, afin d'estimer le comportement possible à long terme de cette zone ;

- modéliser l'évolution thermique d'une alvéole contenant des déchets exothermiques, afin de mettre en évidence les paramètres clés contrôlant l'intensité et l'extension des flux de chaleur dans les colis et autour de ceux-ci.

Les résultats des études de l'IRSN relatives à l'altération alcaline des argilites par le ciment et au comportement mécanique différé des argilites endommagées ont fait l'objet de publications dans des revues à comité de lecture.

L'IRSN a également poursuivi en 2004 des études concernant :

- la modélisation hydrogéologique du bassin de Paris, et plus particulièrement du site de Bure, en intégrant dans son modèle un ensemble de données nouvelles et notamment celles relatives aux concentrations en sels dans les aquifères profonds ;

- le développement d'une approche de modélisation d'ouvrages de stockage dans un environnement géologique, afin d'apprécier la complémentarité des barrières d'un stockage pour confiner l'activité relâchée au plus près des colis. Cette étude a fait l'objet d'un projet européen de recherche (projet BENIPA) et se poursuit dans le cadre du projet franco-allemand REGIME (IRSN/GRS) ;

- le développement d'un code de transport de l'eau, prenant en compte la possibilité d'un changement de phase (liquide/gaz).

Pour ce qui concerne le développement du logiciel MELODIE qui permet d'estimer les risques associés au stockage de déchets, l'année 2004 marque une évolution importante dans les méthodes numériques utilisées, ainsi que dans la stratégie mise en œuvre pour estimer l'impact dosimétrique d'un stockage (*cf. Focus p.44*).





Système de ventilation de l'installation expérimentale DIVA à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Intégration des facteurs humains dans les processus de conception

En 2004, l'Institut a poursuivi la recherche engagée en 2003 sur l'intégration des facteurs humains dans les processus de conception. Il s'agit d'identifier l'impact des différentes décisions prises en cours de conception sur le futur travail des exploitants, puis d'étudier la manière dont cet impact est pris en compte dans la construction des décisions de l'équipe de projet. Trois processus de modifications d'installations classées SEVESO ont ainsi été analysés.

Par ailleurs, l'Institut a engagé la réalisation d'un bilan des expertises menées dans le domaine des facteurs humains et de l'organisation sur les quinze dernières années. Il s'agit en particulier de recenser les sujets analysés (interfaces de supervision, consignes de conduite, organisation de la maintenance, analyse des incidents), ainsi que les approches adoptées (ergonomie, sociologie, gestion, etc.).

Travaux de recherche dans le domaine de l'incendie et de l'aérodispersion

Dans le domaine de l'incendie, les recherches de l'IRSN portent sur l'étude du déroulement et des conséquences d'un feu, de sa propagation et de la propagation des fumées à d'autres locaux, par l'intermédiaire d'ouvertures ou du réseau de ventilation.

Dans le domaine de l'aérodispersion des polluants, les objectifs poursuivis sont la maîtrise du confinement des matières radioactives ou toxiques et la réduction des incertitudes dans l'évaluation des rejets normaux ou accidentels de polluants et de leur dispersion, en vue notamment d'apprécier les conséquences pour l'homme et l'environnement.

Programmes de recherche

L'approche expérimentale permet entre autres d'approfondir la compréhension des phénomènes

physico-chimiques spécifiques des feux et de compléter la base de données nécessaire à l'élaboration puis à la validation de modèles relatifs aux différents phénomènes mis en jeu dans des feux en milieu confiné-ventilé. Ces modèles sont ensuite introduits dans les codes de calcul utilisés pour des études en support aux évaluations de sûreté des dispositions de protection contre l'incendie. Certains programmes sont menés en collaboration avec des partenaires industriels (EDF, COGEMA, etc.) et font l'objet d'échanges avec d'autres organismes nationaux et internationaux (INERIS, universités, US-NRC, etc.).

Deux programmes de recherche se sont achevés en 2004 : l'un portait sur les feux d'armoire électrique (programme CARMELA/CARMELO), l'autre sur l'évolution de la pression des gaz lors d'un feu se déroulant dans une installation comportant plusieurs locaux (programme DIVA 0).



Soufflante à l'échelle 1 pour tester la résistance des filtres THE et clapets coupe-feu en pression (STARMANIA).

Deux autres programmes expérimentaux, démarrés en 2003, se sont concrétisés en 2004 avec la préparation et la réalisation des premières campagnes d'essais. Le programme PRISME s'intéresse à la propagation de la chaleur et des fumées depuis un local siège d'un incendie vers les locaux adjacents (*cf. Focus p.48*). Le programme PICSEL a pour objectif de mieux évaluer les conséquences des feux à cinétique lente de type « feu d'armoire électrique » dans une installation nucléaire (*cf. Focus p.49*).

En parallèle à ces programmes, l'IRSN a poursuivi en 2004 l'acquisition de données et de connaissances sur le comportement d'équipements de sectorisation (portes et clapets coupe-feu) dans l'installation STARMANIA. Ces essais ont pour objectif de préciser l'évolution des résistances aérodynamique et mécanique de ces équipements de sectorisation, en fonction des températures et des pressions auxquelles ils peuvent être soumis au cours d'un feu en milieu confiné.

Simulation d'un incendie

Pour la simulation d'un incendie dans une installation nucléaire, deux types d'approche sont développés : une approche simplifiée, utilisant aujourd'hui le logiciel FLAMME_S/SIMEVENT puis, à partir de 2006, le logiciel SYLVIA, et une approche détaillée mise en œuvre dans le code ISIS. Pour l'approche simplifiée, le logiciel couplé FLAMME_S/SIMEVENT est opérationnel depuis 1999. Il a été utilisé en 2004 pour réaliser des études préalables aux essais du programme PRISME (définition précise des conditions d'essais et vérification de l'intégrité de l'installation DIVA au cours de ces essais). Le développement du logiciel SYLVIA a été poursuivi en 2004 (*cf. Focus p.50*).

Pour le code ISIS, qui permettra de traiter de

FOCUS

COMPORTEMENT DE L'HEXAFLUORURE D'URANIUM (UF_6)

Dans le cadre du PIC (Programme d'intérêt commun) mis en place par l'IRSN avec les exploitants du cycle amont du combustible nucléaire (COGEMA, EURODIF, FBFC) au sujet du comportement de l'hexafluorure d'uranium (UF_6), les travaux menés par l'IRSN en 2004 ont porté sur :

- des essais et des simulations pour évaluer le comportement de l' UF_6 dans un local dans différentes configurations (régime de ventilation du bâtiment, débit de la fuite, etc.). Compte tenu des difficultés de mise en œuvre de l' UF_6 , les essais menés dans les installations de l'IRSN de Saclay (Essonne) ont été réalisés avec du SF_6 , bon simulant de l' UF_6 pour les phénomènes étudiés ;
- la mise au point d'un outil de modélisation de la sublimation de l' UF_6 solide.

Ces travaux visent à permettre une évaluation plus réaliste des conséquences chimiques et radiologiques d'un rejet accidentel d'hexafluorure d'uranium. L'ensemble des essais et des modèles seront exploités pour la définition d'une nouvelle méthode de quantification des rejets. L'achèvement de ce programme est prévu en 2006.



Dispositif expérimental permettant de simuler le comportement des gaz lourds à Saclay (Essonne).



Dispositif pour les essais PICSEL sous la hotte SATURNE.

FOCUS

PROGRAMME EXPÉRIMENTAL PRISME

En 2004, l'IRSN a poursuivi ses travaux dans le cadre du programme expérimental PRISME.

Celui-ci vise à étudier les mécanismes de propagation des fumées et de la chaleur d'un incendie dans un local vers les locaux adjacents. Il apportera des données uniques à grande échelle sur ces phénomènes importants pour l'appréciation des risques liés à un incendie. Il permettra de valider ou de modifier les logiciels de calcul correspondants de l'IRSN, donc de mieux estimer les délais au bout desquels il pourrait y avoir défaillance de fonctionnement d'équipements essentiels à la sûreté en cas d'incendie.

Trois modes de propagation des fumées ont été retenus : la propagation par une porte ouverte, la propagation via un conduit de ventilation traversant le local où a débuté l'incendie et ventilant un local adjacent, et la propagation via un conduit de ventilation avec inversion de l'écoulement dans celui-ci.

Le programme comporte une approche analytique et une approche globale. L'approche analytique consiste à étudier séparément le foyer, les trois modes de propagation précités et les écoulements dans le local adjacent. L'approche globale consiste à étudier les interactions des trois modes de propagation pour des scénarios réels d'incendie, avec et sans action sur la ventilation. L'étude de la source de l'incendie, menée en 2004, a permis de décrire le comportement d'une nappe de tétrapropylène hydrogéné en milieu ouvert et dans un local fermé et ventilé mécaniquement. Ce feu de référence sera utilisé pour l'étude des trois modes de propagation et des écoulements dans le local adjacent.

façon détaillée le développement d'un feu en calculant notamment les températures et les concentrations des différents gaz dans les différents volumes élémentaires d'un local, l'année 2004 a vu la mise au point de la version 2 qui permet la simulation de feux dans un milieu confiné et ventilé mécaniquement. Un ensemble de cas de calcul (cas tests) de complexité croissante a permis de consolider la validation des modèles utilisés, en particulier pour le modèle de ventilation simplifiée qui avait été couplé à la version de base en 2003. Le calcul d'un essai de feu à grande échelle de la série d'essais FLIP, réalisé dans l'installation PLUTON, a commencé à la fin de l'année 2004 et marque le début de la phase de qualification.

En liaison avec les programmes expérimentaux PRISME et PICSEL, une étude préalable, menée avec des universitaires spécialistes du domaine, a conduit à proposer et à démarrer des travaux de thèse sur l'évolution générique de la puissance d'un feu visant à mieux modéliser la vitesse de combustion de matériaux solides.

Recherches en aérodispersion

Afin d'évaluer les dispositions de maîtrise du confinement des matières radioactives et de réduire les incertitudes sur l'estimation des rejets dans l'environnement, les travaux menés par l'IRSN visent à apprécier les phénomènes physico-chimiques relatifs à la mise en suspension de contaminants et à leur transfert dans les situations normales de fonctionnement et dans les situations accidentelles d'une installation. Dans ce cadre, l'IRSN a poursuivi, en 2004, l'enrichissement de la base de données BADIMIS, utilisée dans les expertises et les études de l'Institut, par de nouveaux résultats d'essais obtenus sur la mise en suspension de matières radioactives lors de la chute de poudres et d'objets contaminés. De nouveaux programmes sur la



Salle de commande de l'installation expérimentale DIVA.

mise en suspension de contaminants ont été lancés. Ils s'intéressent à des liquides contaminés et à des matériaux solides contaminés pris dans un incendie. Les travaux sur l'évolution des caractéristiques physiques des aérosols produits lors d'un incendie et sur le colmatage des filtres à très haute efficacité par ces aérosols ont permis d'acquérir de nouvelles données de base qui ont été intégrées dans les outils de calcul.

Pour ce qui concerne la dispersion atmosphérique, l'IRSN a poursuivi la remise à niveau des outils de calcul de dispersion et d'estimation des conséquences d'un rejet accidentel de produits radioactifs, pour remplacer certains modèles jugés obsolètes. L'objectif est de disposer d'un ensemble d'outils intégrant les dernières connaissances acquises dans le domaine de la dispersion dans le champ proche des installations, mais également à l'échelle régionale ou continentale, pouvant être utilisés en situation de crise et à des fins d'études et d'expertises.

En 2004, l'architecture des différents outils a été réalisée et le développement des modèles de calcul a été poursuivi en collaboration avec des partenaires universitaires. Une première version du logiciel pX destiné aux situations de crise a été développée.

FOCUS

PROGRAMME EXPÉRIMENTAL PICSEL

Le programme PICSEL est réalisé par l'IRSN dans le cadre d'un PIC avec COGEMA.

Il porte sur l'étude des feux d'armoires électriques pouvant affecter une installation comportant plusieurs locaux ventilés (colmatage des filtres à très haute efficacité par les fumées, perturbation des niveaux de dépression des locaux, etc.), ainsi que des équipements contenant de la matière radioactive (boîtes à gants, fûts, etc.).

Ce programme a pour objectif d'améliorer les connaissances sur les phénomènes relatifs à la propagation de l'incendie de matériaux solides dans des milieux confinés et ventilés, et de qualifier les codes de calcul pour ces phénomènes. Le programme PICSEL a démarré en 2003 et se poursuivra jusqu'en 2008.

L'année 2004 a été consacrée à la réalisation des essais PICSEL_A : ils visaient à caractériser un incendie d'armoire électrique en atmosphère libre sous la hotte du dispositif SATURNE, en mesurant la concentration des suies produites, le flux de chaleur du foyer vers les équipements proches et la puissance du foyer. En parallèle, les essais PICSEL_C qui concernent la caractérisation d'éléments de boîte à gants (ronds de gants) et de fûts de déchets ont été préparés pour une réalisation début 2005. Les essais PICSEL_A et PICSEL_C constituent les deux étapes préalables aux essais qui seront réalisés dans l'installation DIVA (en configuration à plusieurs locaux) au second semestre 2005. Pour ces essais, la configuration des locaux et du réseau de ventilation sera fixée sur la base de calculs préparatoires réalisés avec le logiciel de calcul FLAMME_S.



Essai visant à définir les modes de combustion des armoires électriques.
1-Phase d'allumage 2-Feu pleinement développé 3-Phase post-expérimentale.



L'équipe qui développe le logiciel SCANAIR.

FOCUS

PLATE-FORME LOGICIELLE SYLVIA

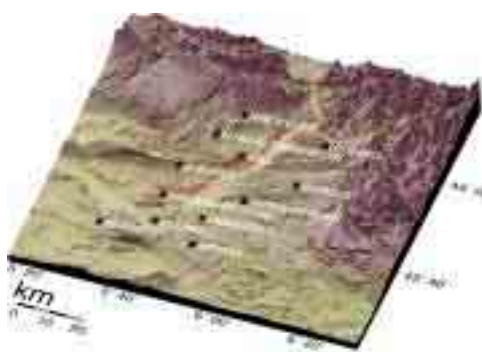
Prédire le développement d'un incendie dans une installation industrielle composée de locaux contenant ou non de la matière radioactive, reliés entre eux par un réseau de ventilation ou des ouvertures, se révèle essentiel pour une meilleure maîtrise du risque d'incendie.

À cette fin, l'IRSN développe SYLVIA qui simule le développement d'un incendie dans une telle installation et calcule en particulier le transport des fumées, des gaz chauds et, le cas échéant, des contaminants en suspension. La livraison de la première version est prévue en 2006. Une version préliminaire a été réalisée au cours de l'année 2004. Elle simule les écoulements d'un mélange gazeux et est couplée à un éditeur graphique permettant la construction du réseau de ventilation et le renseignement des données d'entrée du logiciel. Les modèles physiques correspondent, pour l'incendie, à une approche simplifiée, comme dans le logiciel FLAMME_S/SIMEVENT, mais avec un traitement numérique des équations nettement amélioré, notamment pour décrire l'interaction entre l'incendie et la ventilation. Par la suite, l'évolution des éléments de sectorisation et de confinement induite par l'incendie sera modélisée (colmatage des filtres, modification du comportement aérodynamique des portes et des clapets coupe-feu, etc.). À plus long terme, SYLVIA intégrera un module de calcul détaillé de l'incendie (logiciel ISIS) et sera couplée à SUNSET pour réaliser des analyses d'incertitude.

Les recherches sur les séismes

Les travaux en sismologie de l'IRSN visent une meilleure connaissance des sources d'agression externe que constituent les séismes pour les installations à risque.

Des réseaux instrumentaux sismologiques et géodésiques permettent de préciser l'activité des sources et d'estimer les vitesses de déformations.



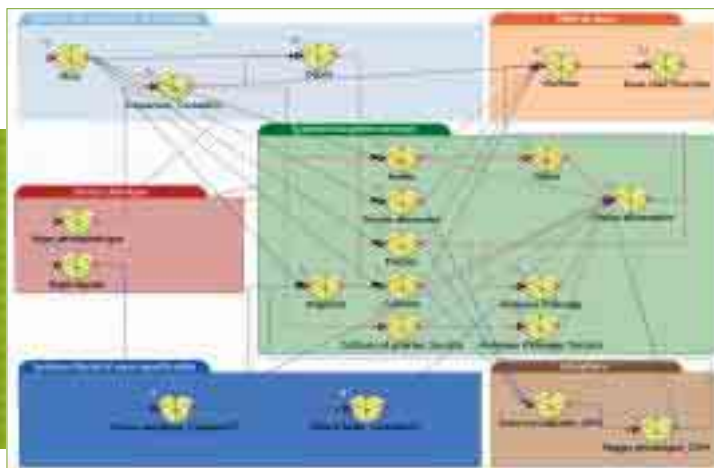
Localisation des stations du réseau sismique de l'IRSN de la faille de la moyenne Durance, sur fond topographique. Les lignes rouges matérialisent les segments de la faille.

En 2004, les données du réseau installé autour de la faille de la moyenne Durance et la détermination du mécanisme au foyer d'une trentaine de séismes ont permis de confirmer le jeu principalement décrochant de la faille, qu'il est essentiel de connaître pour effectuer les simulations numériques de prédiction des mouvements.

Par ailleurs, l'étude des effets de site (effets des couches superficielles du sol sur les mouvements dus aux séismes) s'est focalisée autour de deux sites instrumentés : la cuvette grenobloise et la région d'Aigion, en Grèce. En 2004, la réponse des couches superficielles aux sollicitations sismiques, appelée fonction de transfert, a été calculée à partir des enregistrements de mouvements faibles de chacun d'eux. Enfin, un effort important a porté sur l'estimation probabiliste de l'aléa sismique pour laquelle une étude a été réalisée sur le site du Tricastin (Drôme).



Ardoise électronique permettant le référencement des échantillons prélevés dans l'environnement.



La plateforme SYMBIOSE est un outil de modélisation des transferts de radionucléides dans l'environnement.

Les recherches en radioécologie

En 2004, l'Institut a poursuivi des recherches sur le comportement et les effets des radionucléides sur les écosystèmes en rapport avec les rejets contrôlés ou accidentels résultant des activités nucléaires, des recherches visant une meilleure compréhension de l'évolution spatiale et temporelle de la radioactivité dans l'environnement.

Développement de modèles, d'outils et de techniques d'expertise

Pour pouvoir apprécier l'impact des activités nucléaires sur l'environnement, l'IRSN développe et maintient depuis de nombreuses années des modèles et des outils permettant de prévoir le comportement des radionucléides. En 2004, une nouvelle version du logiciel ASTRAL, cofinancé par EDF, a été mise en place au Centre technique de crise (CTC) de l'Institut. Ce logiciel permet d'évaluer les concentrations des radionucléides dans différents compartiments de la chaîne alimentaire, à la suite d'un rejet accidentel par voie atmosphérique. La nouveauté consiste notamment à pouvoir faire des calculs pour l'uranium. Par ailleurs, une version du logiciel CASTEAUR, dédié à l'estimation de l'impact radiologique de rejets de radionucléides dans les cours d'eau, a été développée pour permettre des calculs à plus long terme. Pour le milieu marin, le logiciel DISPPO, dont l'objet est de prédire la dispersion atmosphérique des radionucléides dans la zone proche de l'usine de la Hague (Manche), a été validé par des campagnes de traçage en mer. Dans le domaine des nouveaux outils, un prototype de la plate-forme de modélisation intégrée SYMBIOSE a été achevé. À la différence des logiciels

qui ne fonctionnent que pour un seul milieu (agricole, aquatique ou aérien), SYMBIOSE traite tous les milieux par un même logiciel, permettant une modélisation des transferts au sein des différents milieux et entre eux. Dans le cadre de travaux menés en collaboration avec EDF, des modèles spécifiques, permettant de prédire le

FOCUS

LANCEMENT DU PROGRAMME EUROPÉEN ERICA

Retenu dans le cadre du 6^e PCRD EURATOM, le programme européen ERICA⁽²⁾ a démarré en mars 2004.

Il vise à élaborer une méthode pour apprécier sur les plans scientifique, décisionnel et sociétal, les effets des contaminants radioactifs sur l'environnement, en mettant l'accent sur la protection de la faune, de la flore et des écosystèmes. ERICA est fondé sur les acquis du programme européen FASSET (5^e PCRD), auquel l'IRSN participait, qui a formalisé un cadre conceptuel d'évaluation de l'impact des radionucléides sur l'environnement.

Coordonné par l'autorité de radioprotection suédoise (SSI), ERICA rassemble quinze partenaires issus de sept pays européens.

Cinq groupes de travail ont été mis en place :

- développement d'outils d'évaluation ;
- développement de méthodes de caractérisation et d'estimation du risque pour l'environnement ;
- élaboration de recommandations concernant la démonstration de la protection de l'environnement contre les contaminants radioactifs, incluant les aspects managériaux et la communication avec les parties prenantes ;
- applications des méthodes d'évaluation développées à différents cas d'études *in situ* ;
- management général du projet.

L'IRSN participe à tous les groupes et assure la coordination du second. Le programme ERICA, qui s'achèvera en février 2007, fournira une approche articulante, de manière logique, méthodes et outils logiciels permettant l'évaluation et la gestion du risque environnemental associé aux radionucléides.

(2) Environmental Risk for Ionising Contaminants : Assessment and management - Risque environnemental des contaminants ionisants : évaluation et gestion.



Prélèvement de sédiment dans le Rhône à Arles à la suite d'un épisode de crue.

transfert du carbone 14 et du tritium dans l'environnement, ont été développés et intégrés à SYMBIOSE.

Développement de connaissances appliquées

Des travaux expérimentaux visant à mieux comprendre les mécanismes qui régissent le comportement des radionucléides dans l'environnement sont menés en support au développement des modèles. L'année 2004 a ainsi vu l'achèvement

du programme européen BORIS, coordonné par l'IRSN, qui a permis, au moyen d'expérimentations et de modélisations, de mieux expliquer le rôle des éléments biologiques, d'une part dans les propriétés de sorption/désorption des radionucléides dans les sols, d'autre part dans les transferts sol-plante.

Dans le domaine de l'étude de la remise en suspension des sédiments marins, les travaux d'une thèse soutenue en 2004 ont permis de montrer la remobilisation possible du plutonium des sédiments vers l'eau de mer. Ceci permettra une prévision réaliste du relargage du plutonium à partir des sédiments déposés en Manche et en mer d'Irlande. Dans le domaine de la dispersion atmosphérique, l'IRSN a participé à plusieurs campagnes de mesures expérimentales qui visaient soit à mieux comprendre les phénomènes de dispersion atmosphérique en milieu urbain (collaboration avec Météo-France), soit à caractériser les aérosols rejetés par l'usine de la Hague (collaboration avec COGEMA).

Par ailleurs, les actions prévues dans l'accord de collaboration tripartite IRSN/CEA/EDF se sont poursuivies en 2004. Dans ce cadre, l'IRSN a particulièrement travaillé au développement d'une méthode d'évaluation du risque pour l'environnement dû aux radionucléides et a mené plusieurs études sur le comportement des radionucléides dans la zone non saturée du sol. Au niveau international, les équipes de l'IRSN se sont largement impliquées dans le programme EMRAS de l'AIEA. En particulier, l'Institut est chargé de coordonner les activités du groupe dédié à la révision du guide AIEA TRS-364 qui compile des données radioécologiques de base.

Enfin, dans le cadre de divers appels d'offres émanant d'organismes publics (ANDRA, Agence de l'eau Seine-Normandie, Région Basse-Normandie, Région

FOCUS

LANCEMENT DU PROJET EXTREME

L'IRSN a lancé en 2004 un projet relatif à l'impact d'événements extrêmes sur les transferts de matières dans les zones côtières.

Ce projet, dénommé EXTREME, est né en partie des résultats du projet CAROL qui a permis de déterminer ce qu'il est advenu, à l'échelle de la basse vallée du Rhône, des différents apports d'éléments radioactifs artificiels auxquels cette région a été soumise depuis plus de quarante ans. EXTREME a pour objectif d'évaluer l'impact des processus naturels « extraordinaires » sur les flux et la répartition des stocks de radioactivité, qu'elle soit d'origine artificielle ou naturelle. Il s'agira notamment d'apprécier l'importance des transferts de matières et de contaminants associés à des épisodes climatiques exceptionnels. Seront ainsi étudiés les transferts atmosphère-sol dans les cas de fortes précipitations, de brouillard ou de dépôt de particules d'origine saharienne. De même, les flux des rivières vers la mer ou la terre, en cas de crue, seront suivis. Enfin, la remise en suspension des sédiments en zone côtière, dans le cas de tempêtes, sera également étudiée. Des résultats préliminaires montrent que de tels événements exceptionnels conduisent à des flux importants de radioactivité et à des activités temporairement supérieures à celles correspondant aux processus de transfert moyen. Quelques événements extrêmes peuvent ainsi conduire à des transferts équivalents à plusieurs mois, voire plusieurs années, de transferts moyens cumulés, ainsi qu'à la création de nouvelles zones de stockage.



Presse à sédiment permettant d'extraire les eaux interstitielles en vue de leur analyse.

PACA, ministère de la Recherche, ministère de l'Environnement), une dizaine de projets proposés par l'Institut, concernant le devenir et les effets des polluants radioactifs dans l'environnement, ont été retenus.

Compréhension des évolutions spatiale et temporelle de la radioactivité dans l'environnement

Le Rhône est la première source de radioactivité artificielle dans la Méditerranée occidentale. Les flux de polluants, radioactifs ou non, transitant par le Rhône vers la mer, ainsi que les stocks de radionucléides qui se sont constitués, notamment dans son delta, intéressent la communauté scientifique nationale et internationale. Ils font l'objet de différents projets (ORME, RESYST, MEDICIS et EUROSTRATAFORM) : l'IRSN participe à certains d'entre eux.

Pour le projet ORME, la collaboration se concrétise par la fourniture des données de la station OPERA d'Arles (Bouches-du-Rhône) de l'IRSN qui dispose d'un dispositif unique en France pour la mesure automatisée des flux de polluants. Le savoir-faire de l'Institut intéresse également l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, qui a participé au financement de la station, ainsi que le Centre océanographique de Marseille qui va prochainement utiliser cette infrastructure pour des analyses de polluants chimiques. Des études fondées sur les résultats de cette station ont par ailleurs mis en évidence l'importance des crues dans les flux arrivant à la mer. Les premiers résultats d'une thèse débutée en 2002 montrent que plus de 80 % des 115 GBq de césium 137 véhiculés par le Rhône au cours de l'année 2002 ont transité en seulement une vingtaine de jours de crue. La source principale d'apport de césium et de plutonium dans la

FOCUS

LE CONGRÈS ECORAD

L'IRSN a organisé en septembre 2004, à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône), la deuxième édition d'ECORAD, congrès international de radioécologie.

Placé sous le parrainage de l'Union internationale de radioécologie (UIR) et de la CIPR, ECORAD a rassemblé plus de 320 scientifiques de 36 nationalités différentes.

L'objectif du congrès, intitulé « Les bases scientifiques pour la protection de l'environnement contre la radioactivité », était de faire le point sur les connaissances dont dispose la communauté scientifique internationale pour évaluer l'impact de la radioactivité sur l'environnement. Le congrès s'est en particulier intéressé aux nouvelles données acquises sur les effets des expositions chroniques sur les organismes et les écosystèmes, afin de permettre le développement de recommandations internationales pertinentes. Cinq réunions techniques se sont tenues en marge du congrès, dont l'assemblée générale de l'UIR.

150 textes ont été remis au secrétariat du congrès, pour être publiés dans les actes. L'année 2005 verra la diffusion des actes dans la revue « Radioprotection » de la SFRP ; les conférences invitées seront quant à elles publiées dans un ouvrage de la collection IRSN.

L'Institut prévoit de faire d'ECORAD un rendez-vous international périodique des scientifiques en radioécologie. La troisième édition devrait avoir lieu en septembre 2007.



Programme du congrès international ECORAD (septembre 2004).



Depuis avril 2004, le laboratoire de mesure du carbone 14 du CEA de Gif-sur-Yvette dispose d'un spectromètre de masse par accélérateur (AMS) pour lequel l'IRSN dispose d'un quota de 400 échantillons annuels, puisque contribuant à son financement à hauteur de 8,5%.

Méditerranée n'est plus constituée par les rejets des installations nucléaires, mais par le drainage de la radioactivité présente dans les sols du bassin versant et la remobilisation des radionucléides présents dans les sédiments anciens stockés dans le lit du fleuve. En mer, différents phénomènes entraînent un dépôt rapide des polluants radioactifs dans une zone assez restreinte de 30 km² correspondant au prodelta du fleuve. Toutefois, les résultats obtenus en 2004, concernant l'une des campagnes de prélèvement du programme REMOTRANS (5^e PCRD) effectuées en 2001 et

associant divers instituts sous la responsabilité de l'IRSN, ont montré que cette zone ne constitue pas un site de résidence définitif des radionucléides. Les stocks ont en effet significativement baissé depuis l'inventaire fait en 1998 à partir d'échantillons prélevés en 1991. Le devenir des stocks et la dispersion des radionucléides sur le plateau continental intéressent la communauté internationale dans le cadre du programme européen EUROSTRATAFORM auquel participent le CNRS, l'IFREMER, l'IRSN, pour la France, et une dizaine d'instituts européens.

Les recherches en métrologie des radionucléides dans l'environnement

Les études radioécologiques de terrain impliquent la recherche de radionucléides dans des contextes diversifiés, parfois en très faibles quantités, afin de comprendre et quantifier les évolutions spatiale et temporelle des radionucléides rejetés lors d'activités nucléaires. Il en résulte un besoin permanent d'amélioration et d'adaptation des techniques de métrologie en support à de telles études.

Ainsi, l'IRSN a poursuivi en 2004 plusieurs réalisations en métrologie des radionucléides :

- mise au point d'une méthode d'analyse des spectres de rayonnement gamma par simulation numérique de différentes configurations de mesure ; cette méthode est en cours d'adaptation pour la caractérisation *in situ* des radionucléides présents dans les sols ;

- amélioration de la connaissance du bruit de fond des spectromètres à diode de germanium exploités par l'IRSN dans le laboratoire souterrain de Modane (Savoie), permettant la quantification de très faibles activités (de l'ordre de quelques mBq) de radionucléides sur des quantités très faibles de matière (moins d'un gramme). À titre d'illustration, la maîtrise de cette instrumentation a permis de fournir un support de mesure dans le cadre d'une étude radiotoxicologique menée en 2004 au sein de l'IRSN sur l'ingestion de particules de sable à forte radioactivité naturelle ;

- développement, en collaboration avec l'École des Mines de Nantes (Loire-Atlantique), du couplage d'un spectromètre de masse et d'un système d'électrophorèse capillaire destiné à caractériser la forme chimique (spéciation) sous laquelle se trouvent les radionucléides dans l'environnement, donnée essentielle à la compréhension de leur comportement.



Tri des femelles *Dario Rerio* pour étudier leur fécondité après une exposition chronique à l'uranium.

Influence de la **chronicité d'une exposition** sur le comportement et la toxicité des radionucléides : **le programme ENVIRHOM**

Parmi les perturbations de l'environnement souvent évoquées comme une cause possible du développement de certaines pathologies, le cas de la radioactivité mérite d'être précisé. C'est pourquoi l'IRSN a lancé en 2001 le programme de recherche ENVIRHOM. Il a pour objectif de permettre une meilleure évaluation du risque lié à l'exposition chronique aux rayonnements ionisants.

Dans les gammes d'expositions se traduisant par des risques différés (cancers, mutations génétiques, etc.) et non par des effets immédiats, le système actuel de protection de l'homme contre les rayonnements ionisants est fondé sur l'hypothèse d'une relation linéaire sans seuil entre un indicateur « dose » et le risque encouru. Cet indicateur a été ajusté principalement grâce au suivi des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki, qui ont été exposés à une forte irradiation composée de rayonnements gamma et de neutrons.

En pratique, ce mode d'exposition concerne peu les grandes populations et l'environnement, qui sont le plus souvent exposés à une irradiation chronique et modérée résultant de contaminations internes et pour lesquelles il n'existe que très peu de données expérimentales pertinentes. C'est notamment une des conclusions du programme européen ERICA auquel l'IRSN participe. L'objectif du programme ENVIRHOM est donc de contribuer à combler ces lacunes pour rendre moins fragiles

les extrapolations utilisées dans les évaluations de risques. Les premiers résultats, bien qu'encore insuffisants pour être transposés en outil opérationnel d'évaluation d'impact, confirment d'ores et déjà que les contaminations internes modérées sont bien une situation spécifique.

Exposition de l'homme

Le premier travail réalisé a consisté à vérifier, à l'aide de quelques exemples précis, si les vitesses d'accumulation, les vitesses d'excrétion et la toxicité des radionucléides après contamination chronique pouvaient être prédites à partir de ce qui est observé en cas d'expositions aiguës. Le premier élément étudié a été l'uranium, car celui-ci peut être présent à des concentrations élevées dans les eaux souterraines de certaines régions (Finlande, Nouveau-Mexique, Canada). Les études correspondantes ont été menées sur des rongeurs contaminés expérimentalement par de l'uranium ajouté à l'eau de boisson. Les premiers résultats ont été obtenus en 2004.

Accumulation de l'uranium dans les tissus et confrontation avec les modèles de la CIPR

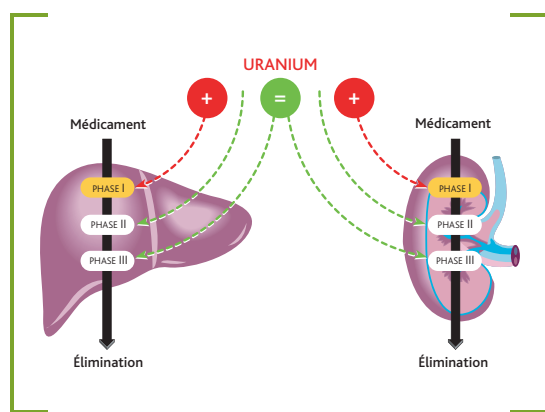
Le travail réalisé montre que l'uranium s'accumule dans la plupart des organes du rat, selon un processus complexe. Les concentrations en uranium dans le côlon semblent augmenter de façon graduelle avec le temps. Ceci est en accord avec les modèles de la CIPR qui prédisent qu'en cas d'exposition chronique, la concentration en uranium dans un organe donné doit augmenter pour atteindre un palier, plus ou



Laboratoire spécialisé dans l'étude des daphnies à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

moins rapidement selon l'organe considéré. En revanche, les résultats obtenus pour les autres tissus montrent que l'accumulation d'uranium ne suit pas ce schéma. Les reins, le squelette, l'intestin grêle, le cerveau, le muscle, le foie ainsi que le corps dans sa globalité montrent des profils de contamination très particuliers, qui traduisent des modifications physiologiques liées à la durée de la contamination. De plus, on observe un dépôt significatif d'uranium dans certaines structures, comme le cerveau ou les dents, qui n'étaient pas traitées spécifiquement dans les modèles classiques. Les données obtenues ne permettent pas de dire, à ce stade, si ces phénomènes, observés pour des rongeurs avec de l'uranium, sont généralisables

à d'autres radionucléides et à l'espèce humaine. Par contre, ils mettent en évidence que les conséquences d'expositions chroniques ne peuvent pas être systématiquement extrapolées à partir de celles d'expositions aiguës. Ces résultats ont été soumis pour publication.



Représentation schématique des effets de l'uranium.

Effets sur le système nerveux central

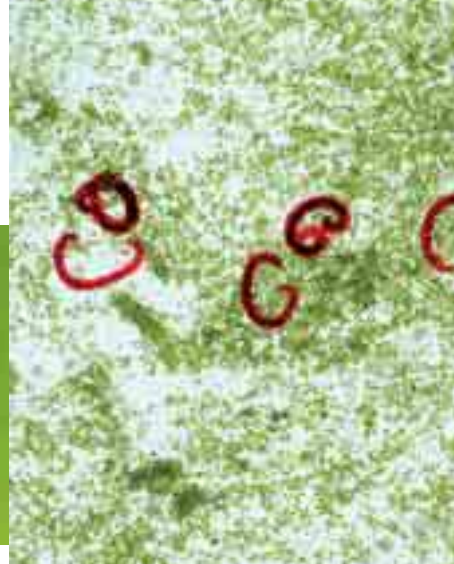
Les études réalisées sur le système nerveux central ont été menées en mesurant d'éventuelles perturbations du sommeil et du comportement. De l'uranium enrichi et de l'uranium appauvri ont été utilisés pour distinguer la part de la toxicité chimique dans la toxicité globale de l'élément. Les résultats montrent qu'une exposition de quarante-cinq jours à l'uranium enrichi est suffisante

pour perturber le cycle veille/sommeil des animaux, altérer leur mémoire à court terme et augmenter leur anxiété. Ces effets ne sont pas observés avec de l'uranium appauvri et pourraient être expliqués, au moins en partie, par l'accumulation d'uranium dans certaines structures cérébrales. Lorsque la contamination est poursuivie pendant neuf mois, l'uranium appauvri semble affecter l'organisation cellulaire dans certaines structures cérébrales. Un article a été accepté pour publication.

Tous ces effets sont observés alors que la concentration en uranium mesurée dans les reins, habituellement considérés comme l'organe cible de référence, est inférieure au seuil de toxicité connu. Ceci semble indiquer que le cerveau est plus sensible à l'uranium que ne le sont les reins et qu'il pourrait être utilisé à la place des reins comme organe de référence. Il reste cependant à expliquer pourquoi l'uranium appauvri ne s'accumule pas de la même façon dans le cerveau et pourquoi il n'induit apparemment pas les mêmes effets neurobiologiques.

La fonction de détoxification des xénobiotiques

Les expérimentations réalisées après une contamination chronique à de l'uranium appauvri pendant neuf mois montrent que celui-ci pourrait modifier la fonction de détoxification des xénobiotiques, tels que les médicaments. Les trois phases du métabolisme des médicaments, mettant en jeu des enzymes et des transporteurs permettant l'élimination des substances étrangères, ont été analysées notamment dans le foie et les reins. Cette étude montre qu'une contamination chronique à l'uranium appauvri induit une surexpression des enzymes de la première phase (cytochromes P450) dans ces organes, alors que les enzymes de la phase II et les transporteurs de la phase III ne sont pas affectés. L'augmentation de l'expression des cytochromes



Larves de chironomes en milieu contaminé à l'uranium.

P450 et l'absence de modification des enzymes de la phase II et des transporteurs de la phase III pourraient entraîner une modification d'un mécanisme de défense majeur de l'organisme, la détoxification des xénobiotiques. En effet, dans le cas d'un traitement médicamenteux, le métabolisme du médicament peut produire un métabolite qui peut devenir toxique s'il s'accumule à la suite d'une augmentation de sa synthèse (phase I) sans augmentation de son élimination (phases II et III). À l'inverse, si le médicament conserve sa forme active initiale, la dégradation rapide de celle-ci dans la phase I pourrait aboutir à une inefficacité thérapeutique.

Si ces hypothèses étaient confirmées, les posologies médicamenteuses devraient être adaptées lors du traitement de personnes exposées de façon chronique à l'uranium.

Les résultats obtenus en 2004 sont présentés dans des articles qui seront soumis pour publication en 2005.

L'exposition de l'environnement

Les rares données disponibles avant le lancement d'ENVIRHOM semblent compatibles avec l'hypothèse que des débits de dose relativement élevés sont nécessaires avant que des effets concrets ne se manifestent. L'ordre de grandeur est d'une dizaine de mGy par jour (soit près de 1 000 fois le débit d'exposition naturelle). Néanmoins, les données sont trop fragmentaires pour en tirer des conclusions fiables.

Il est en effet tout à fait possible que cet ordre de grandeur varie selon la nature de la source de rayonnement.

De plus, l'interprétation des observations en milieu naturel est particulièrement délicate du fait de son inhomogénéité. Un milieu peu contaminé à grande échelle peut en effet être une mosaïque

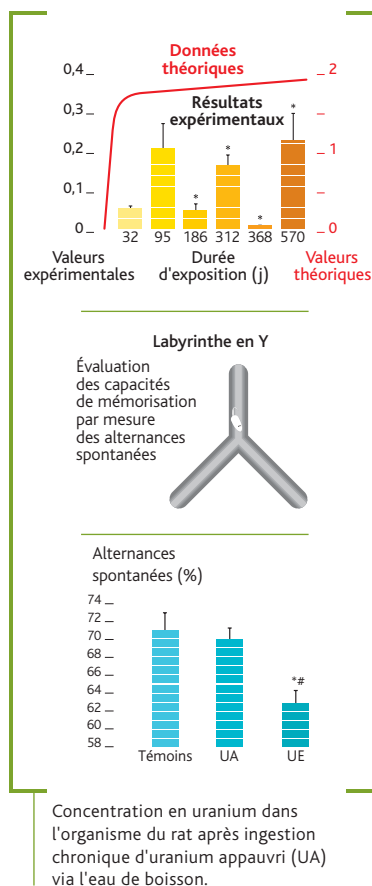
de zones d'accumulations et de zones à contamination quasi nulle.

Le cas de l'uranium

Des effets indubitables sont observés même pour des quantités plus faibles que celles utilisées pour les expériences sur les rats. Par exemple, des concentrations aussi faibles que 150 nanomoles par litre suffisent à stopper la croissance de populations d'algues. Les mêmes résultats sont obtenus avec de l'uranium appauvri ou avec de l'uranium enrichi en isotope 233 (qui est fortement radioactif), ce qui semble prouver que l'effet de la radioactivité est, dans ce cas, négligeable devant la toxicité chimique. À ce niveau de concentration, les estimations des doses sont pourtant de l'ordre de 10 mGy/jour, ce qui semble confirmer que, pour les faibles débits de dose caractéristiques des contaminations environnementales, des doses de radioactivité assez conséquentes sont nécessaires pour produire des effets discernables.

Autres radionucléides

Cet exemple pose naturellement la question de l'amélioration des indicateurs classiques de dose pour qu'ils soient plus représentatifs des effets réels. Le débit de dose est manifestement un paramètre important, de même que le type de rayonnement. Pour préciser ce point, des essais sont en cours sur divers organismes tests (daphnies, poissons, vers) avec de l'uranium appauvri, de l'uranium 233, de l'américium 241, du polonium 210 et du sélénium 79.





Maison de granit à Kersaint (Bretagne) où l'Institut effectue des expériences sur la compréhension de la circulation du radon dans l'habitat.

Perspectives

Les premiers résultats confirment la validité des orientations retenues : l'exposition chronique est un problème spécifique, les différents organismes

tests et les différentes techniques mises en jeu se sont révélés bien adaptés à la mise en évidence d'effets concrets ou d'effets microscopiques qui pourraient être des précurseurs.

Travaux de recherches liés au radon

L'IRSN mène des recherches afin d'améliorer la connaissance des effets sur la santé dus au radon dans les habitations. Les recherches portent également sur la métrologie du radon dans des conditions particulières, son comportement dans les bâtiments et sur le dépôt de ses descendants.

Risque de cancer du poumon associé au radon domestique

Le risque de cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon et au tabagisme a fait l'objet de nombreuses études épidémiologiques. La plupart d'entre elles n'ont pas permis de mettre en évidence un risque significatif mais manquaient de puissance statistique. L'analyse conjointe de

FOCUS

COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES DE CONCENTRATION DU RADON DANS LES BÂTIMENTS

Dans le cadre d'un programme de recherche portant sur la compréhension des mécanismes gouvernant les concentrations de radon dans les bâtiments, l'IRSN utilise une maison individuelle inhabitée, située à Kersaint (Finistère), sur une formation géologique uranifère bien caractérisée.

L'instrumentation des différentes pièces et du jardin a permis de suivre depuis juin 2002 la pénétration du radon à partir de la dalle du sous-sol, son accumulation dans le bâtiment et sa répartition du fait des circulations d'air entre les étages et des échanges avec l'extérieur. En 2004, des évolutions de l'instrumentation ont permis la mise en évidence de la perturbation induite par le bâtiment sur le sol environnant et la caractérisation de deux sources supplémentaires de radon dans le bâtiment : les murs semi-enterrés du sous-sol et les matériaux de construction.

En parallèle, la multiplicité des paramètres en jeu a conduit l'IRSN à développer le code de calcul RADON2 qui permet d'étudier les concentrations de radon dans l'atmosphère intérieure d'un bâtiment. L'objectif est de disposer d'un outil de prédiction de l'activité volumique du radon dans les habitations situées dans des zones à fort potentiel d'exhalation ou dans un site pollué. En préalable, la validité du modèle phénoménologique sur lequel repose le code RADON2 doit être vérifiée à partir des données acquises par l'instrumentation lors de la phase expérimentale qui se poursuivra jusqu'en 2005. Des collaborations scientifiques ont été développées avec l'université de Bretagne-Occidentale et le laboratoire d'étude des phénomènes de transfert appliqués aux bâtiments de La Rochelle (Charente-Maritime) pour la caractérisation de la perméabilité de l'enveloppe globale du bâtiment.



Sonde de mesure de la concentration du radon dans le sol.

13 études cas-témoins menées en Europe, qui inclut l'étude française menée par l'IRSN, a permis de tirer des conclusions.

L'étude française, publiée en 2004 dans la revue *Epidemiology*, regroupe 486 cas de cancer du poumon et 984 témoins. Les concentrations en radon ont été mesurées ou reconstituées pour chacune des habitations pour les trente années précédant le diagnostic du cancer et l'historique tabagique de chaque personne a été établi par questionnaire. L'étude montre une augmentation du risque de cancer du poumon avec la concentration de radon, avec des résultats à la limite de la « significativité » statistique.

L'analyse conjointe européenne, publiée en 2004 dans la revue *British Medical Journal*, regroupe 7 148 cas de cancer du poumon et 14 208 témoins. Elle montre une relation exposition-effet significative, de type linéaire sans seuil, après s'être affranchi des considérations liées à l'âge, au sexe, à la région de résidence et au statut tabagique. Pour une augmentation de 100 Bq/m³ de radon, le risque de cancer du poumon sur la vie entière augmente de 8,4 %. Grâce à sa grande puissance statistique, l'étude confirme l'existence d'une augmentation du risque de cancer du poumon avec l'exposition domestique au radon. Ce résultat est cohérent avec les valeurs publiées dans la littérature et avec celles extrapolées à partir des résultats des études sur les mineurs d'uranium.

Métrieologie du radon

L'IRSN a réalisé des travaux sur la présence et le comportement du radon dans les établissements thermaux afin de mieux apprécier l'exposition des curistes et des personnels aux rayonnements naturels. Ces travaux ont montré que les voies et les niveaux d'exposition diffèrent selon la catégorie

FOCUS

UTILISATION DU RADON COMME SONDE HYDROLOGIQUE

Depuis l'envoi des sondes *Viking* en 1976, la recherche de la vie sur Mars constitue une préoccupation importante des scientifiques étudiant les planètes.

Dans cette recherche, un point essentiel est de déterminer sans ambiguïté la présence ou l'absence d'eau dans les premiers mètres du sol martien aux latitudes équatoriales. Une « simple » mesure de la concentration de radon dans la basse atmosphère martienne pourrait apporter une preuve de la présence d'eau, que n'ont pas pu fournir jusqu'à présent les robots *Spirit* et *Opportunity* et les satellites *Mars Odyssey* et *Mars Express*. L'utilisation envisagée du radon comme sonde hydrologique sur la planète Mars résulte d'un fait bien établi sur Terre, selon lequel l'exhalation du radon d'un sol poreux dépend fortement de la teneur en eau de ce sol : une quantité, même très réduite d'eau, accroît en effet spectaculairement la capacité du radon à se rassembler dans les pores du sol pour migrer vers l'atmosphère.

Une thèse cofinancée dans le cadre d'un partenariat avec le CNES est en cours pour transposer cette observation aux conditions environnementales de la surface martienne et pour définir les caractéristiques d'un instrument de mesure du radon qui pourrait être embarqué sur une future plate-forme d'exploration de la planète Mars. Le doctorant a été accueilli en décembre 2004 au laboratoire de physique et de métrologie des aérosols de l'IRSN.



Baccara, banc d'étalonnage du radon à Saclay.



Cartographie du débit de dose gamma en temps réel en fonction de la position géographique.

de personnes considérées (médecins, masseurs kinésithérapeutes, personnels chargés de l'entretien des locaux et du linge, etc.) et en fonction du temps de séjour et du contact avec l'eau thermale, qui est responsable de la présence de radon dans les bâtiments. En 2004, l'IRSN a élaboré un protocole qui définit deux méthodes de mesure de la radioactivité naturelle dans les établissements thermaux. À la suite de ses travaux sur la métrologie de l'activité volumique du radon en atmosphère particuliè-

rement humide, l'IRSN a réalisé des mesures de radon dans les grottes ornées qui relèvent de la gestion du ministère chargé de la Culture. Du fait du caractère spécifique de l'atmosphère des grottes (confinée et humide), un protocole expérimental de caractérisation des concentrations de radon est en cours de validation dans cinq grottes ornées de peintures rupestres retenues par le ministère : Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche), Niaux (Ariège), Lascaux, Font-de-Gaume et Combarelles (Dordogne).

Épidémiologie des travailleurs du nucléaire

L'IRSN développe des travaux d'épidémiologie afin d'estimer le risque de cancer associé à l'exposition chronique à faible dose aux rayonnements ionisants.

Les normes de radioprotection en vigueur sont principalement fondées sur les résultats du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et

de Nagasaki, qui ont été exposés à de forts débits de dose dans des laps de temps très courts. Les préoccupations actuelles en radioprotection concernent davantage des individus exposés à des doses faibles reçues de manière prolongée au cours de leur travail. Des modèles sont utilisés pour extrapoler les connaissances sur les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki aux groupes d'individus exposés de façon chronique. Afin de vérifier la validité de ces extrapolations, des études épidémiologiques portant sur des populations exposées à de faibles

doses étalées dans le temps ont été mises en place depuis les années 70. Les travailleurs de l'industrie nucléaire constituent une population idoine pour ces études, car ils forment une population nombreuse, dont l'emploi est stable et avec une bonne qualité d'enregistrement des doses reçues.

Dans ce contexte, l'IRSN a mis en place le suivi d'une cohorte de travailleurs du groupe CEA-COGEMA, avec pour objectif d'estimer le risque de cancer associé aux expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, expositions faibles mais chroniques. Le suivi exige la reconstitution des doses individuelles reçues par les travailleurs pendant toute leur carrière, la recherche des statuts vitaux (décédé ou non) et, le cas échéant, celle des causes de décès. Au total, plus de 50 000 travailleurs embauchés au sein du groupe CEA-COGEMA depuis les années 50 sont concernés. Une première analyse descriptive de la mortalité des travailleurs du CEA a été publiée en 2004 dans la revue *American Journal of Industrial Medicine*. Elle a mis en évidence une sous-mortalité de cette population par rapport à la population générale



Dosimètre radon à kodalpha.



La salle d'archives de l'unité d'expertise des sources à Fontenay-aux-roses (Hauts-de-Seine).

française pour l'ensemble des causes de décès et pour l'ensemble des cancers, mais un excès significatif de mortalité par mélanome malin cutané. L'analyse de la relation dose-effet sur une partie de la cohorte (29 000 individus) a été réalisée. L'analyse de la totalité de la cohorte sera possible lorsque toute la dosimétrie aura été validée.

Une partie des données a été transmise au CIRC, coordonnateur de l'étude internationale portant sur environ 50 000 travailleurs du nucléaire de 15 pays et traitant plus particulièrement des effets sur la santé des rayonnements externes X et gamma. L'analyse de la mortalité a été effectuée et un article a été transmis en 2004 pour publication dans une revue.

De plus, la cohorte des travailleurs du groupe CEA-COGEMA sera intégrée au projet de recherche européen, coordonné par l'IRSN, sur les risques associés aux expositions internes aux rayonnements ionisants.

Enfin, dans le cadre d'un PIC entre l'IRSN et COGEMA, une étude s'intéressant à la morbidité des travailleurs en activité a été lancée en 2004, en collaboration avec la médecine du travail de COGEMA.

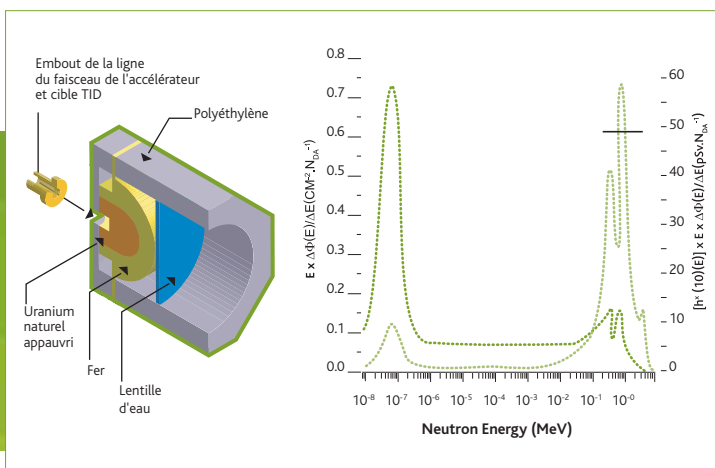
FOCUS

COORDINATION DE PROJETS EUROPÉENS EN ÉPIDÉMIOLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Le laboratoire d'épidémiologie de l'IRSN a déjà coordonné plusieurs projets de recherche européens, notamment dans le cadre des 4^e (1996-1999) et 5^e (2000-2003) PCRD.

Ces travaux portaient sur la quantification du risque de cancer associé à l'exposition cumulée au radon, en particulier sur la base des études sur les mineurs d'uranium.

En 2004, un nouveau projet de recherche a été élaboré en réponse à l'appel d'offres du 6^e PCRD. Cette recherche, plus ambitieuse que les précédentes, va regrouper 18 partenaires de 9 pays différents, sous la coordination de l'IRSN. Elle a pour objectif l'amélioration des connaissances sur les effets sanitaires – cancers et autres pathologies – des expositions chroniques aux rayonnements ionisants. En particulier, elle vise à apporter des éléments nouveaux sur la quantification des risques associés aux expositions internes, en intégrant la majorité des études européennes sur le sujet : cohortes de mineurs d'uranium (plus de 20 000 mineurs), étude sur le radon domestique (étude conjointe de 13 pays européens), études des risques chez les travailleurs du nucléaire ayant reçu des expositions internes, etc. Cette recherche implique la collaboration entre équipes de chercheurs de trois disciplines : l'épidémiologie, la dosimétrie et la modélisation biomathématique. Le projet doit démarrer en 2005 pour une durée de trois ans.



Développement de champs neutroniques de référence avec le dispositif CANEL T400 produisant des champs mixtes réalistes.

Amélioration de la radioprotection

Pour une meilleure radioprotection des travailleurs, des patients et du public, l'IRSN est conduit à améliorer régulièrement ses méthodes et outils d'évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Dans les installations nucléaires où sont manipulées des matières radioactives, les travailleurs sont exposés à un risque de contamination interne. Leur protection est assurée par des équipements dont l'IRSN a étudié la tenue en cas d'accident et amélioré l'efficacité.

En 2004, l'IRSN a essentiellement travaillé au développement d'outils de simulation d'une contamination interne, au développement de champs neutroniques de référence, à l'abaissement des limites de détection, par exemple pour la mesure des plaies contaminées par des actinides ou pour la dosimétrie passive des neutrons, et enfin à l'évaluation de l'exposition à bord des avions durant la phase d'activité maximale du soleil.

Efficacité des équipements de protection

Dans le domaine de l'efficacité des équipements de protection, l'IRSN a étudié en 2004 la situation créée par la rupture accidentelle du confinement statique assuré par les gants et les sacs équipant les boîtes à gants dans lesquelles sont manipulées des matières radioactives. Les résultats ont permis de quantifier l'amplitude des phénomènes de transfert d'aérosols, dans le cas de l'arrachement de tels équipements, dans différentes configurations. L'efficacité d'un dispositif de sécurité permettant d'assurer un confinement dynamique par un débit d'extraction

additionnel a été démontrée, quelle que soit la nature du contaminant (gaz, aérosol). Le bénéfice d'un tel dispositif sur la réduction des transferts d'aérosols vers l'extérieur d'une enceinte est plus important pour les particules les plus grosses (5 µm).

Dispersion des polluants

Dans le domaine de la dispersion des polluants, des travaux de thèse achevés fin 2004 ont permis d'élaborer des corrélations décrivant l'évolution spatio-temporelle de la concentration d'un polluant gazeux dans le champ proche d'une fuite accidentelle, en fonction des différents paramètres concernant la fuite (vitesse et durée d'émission, dimensions de l'ouverture), le polluant (densité et concentration initiales) et la ventilation du local (vitesse d'écoulement transverse). Ces corrélations ont été intégrées dans un outil de calcul simplifié qui peut être utilisé pour estimer les concentrations de polluants dans un local après une rupture accidentelle du confinement assuré par une enceinte. Des travaux complémentaires seront menés pour étudier le cas d'un contaminant particulaire, ainsi que l'influence des parois et des obstacles dans un local.

Échantillonnage

Dans le domaine de l'échantillonnage par prélèvements d'aérosols, les travaux menés par l'IRSN visent à apporter des éléments d'appréciation sur la stratégie d'échantillonnage à mettre en place pour estimer l'exposition des travailleurs, en particulier le choix entre prélèvement individuel et prélèvement à poste fixe. En 2004, des essais d'intercomparaison de différents types de préleveurs ont été menés *in situ* dans un atelier. Deux points principaux ont été mis en évidence : les réponses



Fantôme physique servant à l'étalonnage des installations d'anthroporadiométrie.

sont différentes pour les préleveurs à poste fixe et pour les préleveurs individuels et dépendent principalement de leurs performances propres en fonction de la granulométrie des aérosols prélevés. Par ailleurs, la comparaison entre prélèvements individuels et prélèvements d'ambiance montre que les activités mesurées par les prélèvements individuels peuvent, dans certains contextes, être nettement supérieures à celles déterminées à partir de prélèvements d'ambiance.

Amélioration de la mesure *in vivo* des actinides

Des fantômes numériques pour la mesure *in vivo* réaliste des actinides dans les poumons et les plaies contaminées

Une des méthodes utilisées pour estimer la contamination interne d'un individu repose sur la mesure directe des rayonnements X et gamma émis par son organisme. Cette méthode, appelée « anthroporadiométrie », présente l'avantage d'être rapide et aisée à mettre en œuvre pour les émetteurs de rayonnements X et gamma d'énergie supérieure à 100 keV. Dans le cas d'une incorporation d'actinides, son utilisation est délicate car l'énergie des rayonnements émis est faible et fortement absorbée dans les tissus. Bien que d'importants efforts aient été réalisés pour améliorer les fantômes physiques (mannequins) servant à l'étalonnage des installations d'anthroporadiométrie, les fantômes physiques ne peuvent fournir qu'une représentation grossière du corps humain. Par conséquent, des corrections doivent être apportées aux étalonnages obtenus à l'aide de ces fantômes physiques en vue d'une extrapolation à un individu donné. Ces corrections sont délicates, mais particulièrement importantes pour les mesures *in vivo* de rayonnements de basses énergies, tant les absorptions dans les tissus sont élevées.

Aussi, pour améliorer l'étalonnage, des fantômes numériques tridimensionnels construits à partir d'images par scanners ou IRM (fantômes voxélisés) ont été associés à des logiciels de calcul Monte-Carlo (MCNP). Une interface appelée CEDIPE permet, d'une part, la génération de fantômes voxélisés, d'autre part, la simulation de la mesure anthroporadia-

FOCUS

PROJET ANTHRO-Si

L'IRSN a achevé en 2004 le développement d'un prototype du système de mesure anthroporadiométrique dénommé ANTHRO-Si.

Il s'agit du résultat d'un projet, initié en 1995, afin d'abaisser la limite de détection des systèmes actuels de mesure, qui utilisent des détecteurs en germanium refroidis à l'azote liquide. Ce projet a consisté à concevoir un système fondé sur l'utilisation de détecteurs en silicium PIPS « pixélisés » fonctionnant à température ambiante. La mesure anthroporadiométrique permet de déterminer rapidement les activités des radionucléides incorporés par un individu. Elle est utilisée pour la surveillance médicale des travailleurs soumis à un risque de contamination interne. Cependant, pour les transuraniens, la sensibilité de la mesure est limitée par le fait que les raies X et gamma de faible énergie (< 100 keV) associées aux désintégrations alpha sont absorbées. Cette absorption et la distribution hétérogène des activités dans les tissus contribuent à la difficulté d'interpréter le résultat de la mesure.

Les performances métrologiques d'ANTHRO-Si seront étudiées en 2005 pour les plaies contaminées par des actinides, avant d'envisager une industrialisation.

L'atout majeur d'ANTHRO-Si est de pouvoir localiser plus précisément des contaminations grâce aux détecteurs « pixélisés » d'encombrement mécanique minimal, tout en offrant à priori un meilleur compromis entre la résolution de la mesure et la surface du détecteur que les détecteurs en germanium. Ce système, s'il est industrialisé, constituerait un moyen simple de mesure *in vivo* de la contamination interne lors de situations accidentelles.



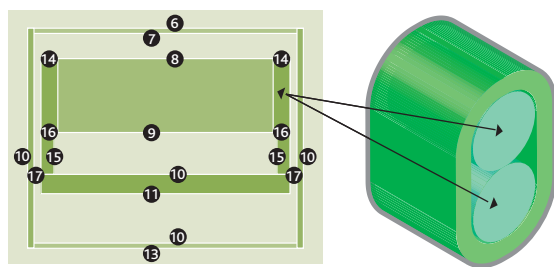
Développement de fantômes numériques tridimensionnels.

métrique dans des conditions similaires à la réalité. En 2004, une première validation de la démarche a consisté à introduire dans CEDIPE les caractéristiques géométriques du système de comptage multidétecteur du Laboratoire d'analyses biologiques et médicales de COGEMA Marcoule (Gard) à partir des plans fournis par le constructeur. Des mesures d'activité ont ensuite été effectuées avec des sources ponctuelles ; elles ont permis de valider la description géométrique du système par comparaison aux mesures « simulées » par

thoraciques pour le fantôme physique Livermore. Les résultats obtenus ont mis en évidence deux points : l'intérêt de réaliser des étalonnages des installations d'anthroporadiamétrie avec des fantômes voxélisés de morphologie proche de celle des personnes à mesurer ; le besoin de déterminer des équations bio-paramétriques spécifiques de la morphologie des Européens, les équations existantes ayant en général été déterminées pour la morphologie des Nord-Américains.

La seconde étape a consisté à simuler des contaminations non homogènes, afin de mieux appréhender l'influence d'une hétérogénéité de la contamination sur l'étalonnage. Deux cas simplifiés de contamination des poumons ont été utilisés ; leurs résultats ont été comparés à ceux obtenus pour une contamination uniforme des poumons. Les résultats semblent montrer l'absence de différence significative entre une contamination non homogène et une contamination uniforme pour des énergies supérieures à 26 keV ; par contre, une faible différence est constatée à 17 keV. En conséquence, l'hétérogénéité de la contamination ne remet pas vraiment en cause les étalonnages existants.

Application des fantômes numériques voxélisés associés au code Monte Carlo MCNP à la mesure in vivo réaliste des actinides dans les poumons et les plaies contaminées.



Vue en coupe de la modélisation d'un détecteur germanium.

le logiciel MCNP. D'autres mesures, réalisées avec le fantôme physique Livermore (du Lawrence Livermore Laboratory - USA), ont permis de valider l'outil CEDIPE pour l'installation, montrant la possibilité d'élaborer des courbes d'efficacité virtuelles, car obtenues par simulation, en vue d'un étalonnage de l'installation.

À partir de ces résultats, les recherches ont été ciblées sur l'appréciation des incertitudes de mesure. La première étape a consisté à étudier la variation de l'activité incorporée d'une personne (représentée par un fantôme voxélisé), lorsque le système de mesure est étalonné en utilisant diverses épaisseurs

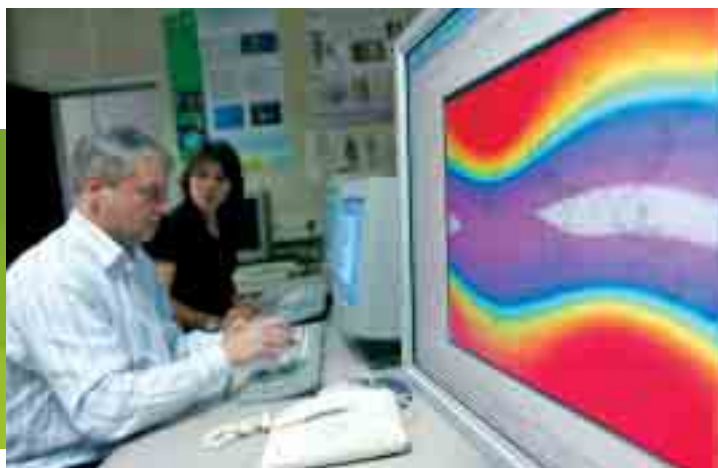
Dosimétrie des neutrons par détection de traces

Le laboratoire de surveillance dosimétrique de l'IRSN a engagé en 2003 une étude en vue d'améliorer le système de dosimétrie passive des neutrons fondé sur la technique de la détection de traces. Les objectifs visés sont une diminution du seuil de détection, une meilleure prise en compte du bruit de fond ainsi que l'extension de la réponse du dosimètre aux faibles énergies.

Le principe physique du détecteur utilisé (un polycarbonate commercialisé sous la référence PN3) repose sur l'interaction des neutrons dans le volume du matériau. Les cassures des chaînes de polymères qui en résultent forment des zones



Placement de l'appareil de dosimétrie neutron devant CANEL.



Estimation dosimétrique lors d'une éruption solaire.

endommagées qui réagissent au contact d'un milieu basique fort avant le reste du polymère. Il en résulte l'apparition de traces microscopiques sur la surface du détecteur après quelques heures d'immersion dans le milieu basique.

La détermination des paramètres optimaux du traitement chimique a abouti en 2004 à la mise au point d'un nouveau protocole de mesure des doses dues aux neutrons. Grâce au traitement chimique, le détecteur devient sensible aux particules chargées externes, ce qui augmente ses performances, avec une réponse multipliée par deux ; il existe un indicateur qui repère si le dosimètre a été irradié ; l'adjonction de convertisseurs au contact du dosimètre permet de couvrir tout le spectre en énergie.

Développement des moyens de référence

Le Laboratoire de métrologie et de dosimétrie des neutrons de l'IRSN possède le statut de laboratoire associé au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE). C'est pourquoi il met en œuvre dans ses installations l'ensemble des outils nécessaires à une meilleure définition des grandeurs étalons tels que la fluence et l'équivalent de dose ambiant. Ces grandeurs sont obtenues après la confirmation expérimentale des distributions en énergie des champs de rayonnement calculées par le code MCNP. En 2004, les résultats finaux de la campagne internationale de spectrométrie sur l'installation CANEL/T400 ont été publiés. Ils ont conduit à améliorer les caractéristiques d'un des écrans de CANEL ; ils ont aussi permis de connaître la distribution en énergie du champ de neutrons de l'empilement SIGMA. D'autre part, les spectrométries par scintillation liquide des sources neutroniques de référence ont conduit à mettre en question l'universalité du spectre de la source d'AmBe indiqué dans la norme ISO 8529-1.

FOCUS

RAYONNEMENT COSMIQUE : LE PROJET DOSMAX

Du fait du rayonnement cosmique, les personnels navigants reçoivent des doses individuelles annuelles qui peuvent, dans certains cas, atteindre quelques millisieverts.

Dans ce contexte, le projet DOSMAX, financé par la Commission européenne, a rassemblé plus de dix laboratoires européens, de 2000 à 2004, avec pour objectif l'évaluation des expositions à bord des avions durant les phases d'activité maximale du soleil. De nombreuses mesures ont été réalisées en vol par les différents laboratoires, en collaboration avec les compagnies aériennes.

L'Institut a organisé une intercomparaison des systèmes dosimétriques des différents laboratoires, en vol, à bord d'un avion-cargo d'Air France, sur le vol Paris-Fairbanks-Tokyo. Cette intercomparaison a été une occasion unique de comparer les réponses de plusieurs techniques dosimétriques en situation réelle et de montrer qu'il existe une bonne cohérence entre les différents systèmes expérimentaux et les modèles utilisés pour effectuer le suivi en routine des doses reçues par les personnels navigants. La dose efficace mesurée pour un aller-retour a été de $120 \mu\text{Sv} \pm 10 \mu\text{Sv}$ (à titre de comparaison, la dose efficace individuelle annuelle due au rayonnement cosmique est en France de l'ordre de $300 \mu\text{Sv}$).



Doses en millisieverts (mSv) pour un parcours

Les mesures effectuées par l'IRSN avec l'appareil NAUSICAA à bord d'avions long-courriers d'Air France de 1996 à 1998 démontrent la réalité de l'exposition des personnels navigants.



Accélérateur AMANDE.

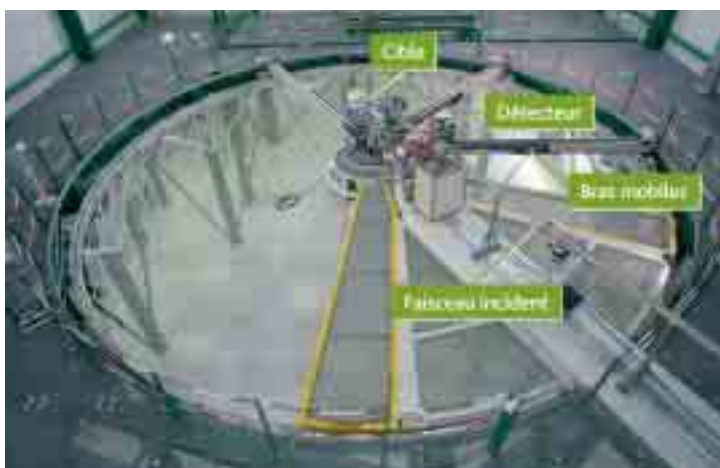
L'installation AMANDE

L'IRSN a décidé en 2000 de réaliser une nouvelle installation, dénommée AMANDE, pouvant produire des champs de rayonnements neutroniques mono-énergétiques, dont l'énergie est ajustable entre 2 keV et 20 MeV. Cette installation a pour vocation essentielle de déterminer la réponse des appareils de mesure en fonction de l'énergie des neutrons, comme le recommande la norme internationale ISO 8529-1.

L'installation AMANDE sera au cœur du système français de références neutroniques, faisant du Laboratoire de métrologie et de dosimétrie des neutrons (LMDN) de l'IRSN un laboratoire de référence en la matière aux plans national, européen et international. Ce laboratoire est associé au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), au titre de la dosimétrie et de la métrologie des neutrons. L'installation AMANDE pourra également

produire un champ photonique de référence de 7 MeV (recommandé par la norme internationale ISO 4037-1) qui n'existe pas aujourd'hui en France. Elle permettra d'étendre les possibilités d'étalonnage de l'IRSN dans le domaine des hautes énergies des photons. L'année 2004 a été marquée par la fin de la construction de l'installation ainsi que par la mise en place de l'accélérateur proprement dit et des équipements connexes. Les performances de cet accélérateur permettront d'atteindre une détermination précise de l'énergie et la fluence du champ neutronique avec une résolution inférieure à quelques pour cent. L'émission neutronique pourra atteindre $5 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ et produira des champs de rayonnements de manière continue ou pulsée avec une largeur d'impulsion inférieure à deux nanosecondes. Le hall d'expérience étant constitué de parois métalliques, le bruit de fond dû aux neutrons diffusés est fortement réduit par rapport aux installations équivalentes dont les parois sont en béton. Enfin, un système de bras mobiles automatisés permet de placer précisément les détecteurs à irradier à un angle et à une distance (jusqu'à 6 mètres) donnés de la cible, source des neutrons. L'installation AMANDE vient compléter les installations déjà utilisées par l'IRSN :

- deux générateurs de neutrons, associés au dispositif CANEL, qui produisent des champs de neutrons proches de ceux observés à certains postes de travail dans les réacteurs,
- un irradiateur mettant en œuvre deux sources radioactives (l'une d'américium-béryllium et l'autre de californium),
- SIGMA qui produit un champ présentant une forte proportion de neutrons « thermiques ».



Hall d'expérimentation de l'installation AMANDE.



Fantôme anthropomorphe « Rando » pour la dosimétrie des patients.

La radioprotection des patients : conséquences d'une radiothérapie sur le tissu sain présent dans le champ d'irradiation

L'IGR et l'IRSN ont créé une unité mixte, dans le cadre de l'unité propre de recherche de l'enseignement supérieur (UPRES) 27-10 pour étudier les mécanismes physiopathologiques qui contrôlent le développement des fibroses radio-induites et définir de nouvelles stratégies thérapeutiques permettant leur traitement.

Les doses d'irradiation nécessaires au contrôle tumoral des cancers de la région abdomino-pelvienne engendrent des phénomènes de toxicité intestinale aiguë et tardive. Les complications tardives, de type fibroses radio-induites, peuvent avoir des conséquences très importantes de par leur nature chronique et progressive et de par la morbidité et la mortalité qui leur sont associées. Il n'existe actuellement aucun traitement.

Des études récentes ont montré que ces fibroses étaient des pathologies évolutives comparables à un processus de cicatrisation chronique. Deux modèles ont été proposés pour expliquer les effets tardifs développés par les tissus sains après radiothérapie. Le premier décrit les effets tardifs comme la conséquence d'effets aigus sévères et persistants. Le second décrit les effets tardifs et la fibrose radio-induite comme résultant de l'irradiation des tissus conjonctifs et de la diminution des cellules parenchymateuses et stromales. Ces deux hypothèses sont étudiées au sein de l'équipe mixte. Des essais précliniques ont été réalisés

avec un facteur de croissance spécifique de l'intestin : le Glucagon-Like Peptide 2 (GLP-2). Cette approche thérapeutique a pour objectif la production de cellules épithéliales et la recolonisation de la muqueuse intestinale après irradiation. L'étude est réalisée en contrat de recherche avec les laboratoires Novo Nordisk (Danemark), fournisseurs du facteur de croissance.

FOCUS

OUVERTURE EUROPÉENNE EN RADIOPROTECTION MÉDICALE

Les recherches menées par l'équipe mixte IGR/IRSN sur l'entérite radio-induite s'inscrivent dans une dynamique européenne de transfert des résultats de la recherche vers la radiothérapie.

Le Translational Research Group (TRG), créé en octobre 2001 au sein du groupe Radiothérapie de l'EORTC, a pour but de développer et coordonner les relations entre les chercheurs et les cliniciens, afin d'assurer une communication rapide des avancées de la recherche en radiobiologie et en radiopathologie vers la clinique. Les activités du groupe sont orientées selon trois axes : les agents prédictifs, les agents diagnostiques, les agents thérapeutiques, auxquels s'intègrent parfaitement les travaux de l'IRSN. Deux études cliniques, ainsi qu'un test prédictif issu des travaux de l'IRSN, seront mis en place en collaboration avec l'IGR.

L'implication de l'IRSN dans le groupe TRG/EORTC et ESTRO permet de placer l'Institut au niveau européen dans le domaine de la radioprotection médicale.



Préparation de la coloration des lames de coupes histologiques.

Un effet bénéfique a été mis en évidence sur les atteintes aiguës et tardives de l'intestin grêle irradié chez le rat. Ce travail a fait l'objet de deux publications en 2004. Des études complémentaires sont maintenant nécessaires afin de confirmer l'effet thérapeutique et de comprendre les modes d'action du GLP-2.

Un deuxième axe thérapeutique est développé en parallèle. Il est fondé sur les résultats obtenus par l'IRSN sur les mécanismes physiopathologiques conduisant aux entérites radio-induites chez l'homme. Ces résultats permettent d'envisager l'inhibition du Connective Tissue Growth Factor

(CTGF/CCN2) comme un moyen d'action efficace et spécifique contre les fibroses. Cette découverte ouvre de réelles perspectives thérapeutiques puisqu'il existe des inhibiteurs pharmacologiques de la voie Rho/ROCK qui contrôle la production du CTGF : les statines et le fasudil. Des expériences thérapeutiques avec les statines ont été lancées chez le rat : les premiers résultats montrent une résorption de l'entérite radio-induite chez le rat.

Ces résultats préliminaires prometteurs, publiés en 2004, et la collaboration étroite avec l'IGR permettent d'envisager, à court terme, le transfert en clinique de ces nouvelles stratégies anti-fibrosantes.

Accidents d'irradiation et de contamination

Le programme de recherche mené par l'IRSN sur les effets des irradiations à doses moyennes et fortes s'articule autour de deux axes : recherche de bio-indicateurs d'effets pour le diagnostic, voire le pronostic, permettant d'apprécier l'étendue des dommages radio-induits ; recherche de nouvelles cibles d'action thérapeutique.

Parallèlement, le développement de moyens de mesure opérationnels en différents points de l'organisme complète les moyens de diagnostic. Le risque d'actions terroristes vient renforcer l'intérêt de ce programme de recherche qui associe des physio-pathologistes à des physiciens.

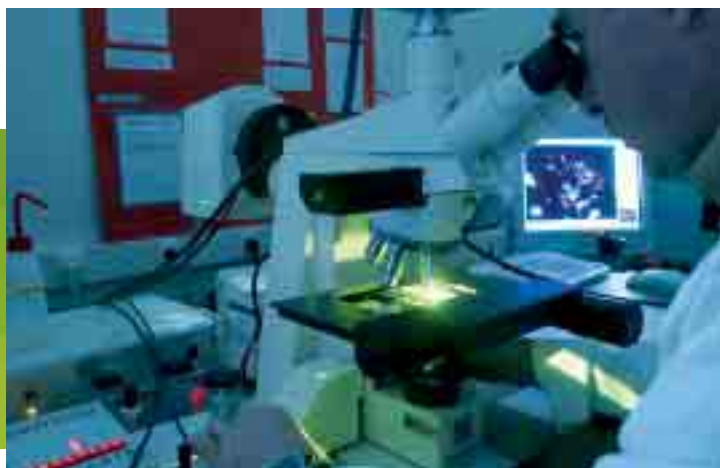
Syndrome cutané d'irradiation

Deux structures hospitalières, le Centre de traitement des brûlés (CTB) de l'hôpital d'instruction des Armées de Percy (Hauts-de-Seine) et le département d'oncologie-radiothérapie de l'Institut

Curie (Paris), auxquels l'IRSN apporte souvent son concours technique, ont acquis une compétence reconnue internationalement dans le domaine du traitement médical du syndrome cutané radio-induit, compte tenu de leur implication dans le traitement de victimes d'accidents en Géorgie, au Pérou et en Pologne. Leur expérience montre que, si la pathogénie des effets cutanés des rayonnements ionisants est bien décrite, le traitement médical reste encore extrêmement complexe et délicat : la seule issue thérapeutique est l'exérèse des tissus irradiés et la greffe de peau lorsque les tissus évoluent vers la nécrose. Ce constat a amené l'IRSN à développer, en concertation avec les cliniciens du CTB, un programme de recherche soutenu par la DGA, visant à améliorer le diagnostic et le traitement des irradiations localisées (cf. Focus p.69).

Amélioration du diagnostic

Une évaluation dosimétrique précise et précoce de l'atteinte du tissu exposé est utile, mais n'est



Observation au microscope de fluorescence
(technique FISH, Fluorescence In Situ Hybridization).

pas suffisante pour asseoir un diagnostic. Elle doit être complétée par une appréciation de l'intensité de l'atteinte tissulaire et du volume des tissus appelés à se nécroser. Une démarche globale d'amélioration du diagnostic des irradiations localisées, incluant l'intercomparaison de différentes techniques biophysiques (laser doppler, thermographie, RMN), cliniques et biologiques, a été engagée en 2004, dans le cadre d'un contrat avec la DGA (cf. Focus p.69). L'IRSN y développe une nouvelle approche de la dosimétrie biologique des irradiations localisées, fondée sur l'application des techniques de cytogénétique sur des cellules présentes dans le tissu cutané. Cette approche, testée lors du dernier accident d'irradiation localisée (accident de Géorgie) traité en France, est en cours de validation sur un modèle expérimental animal. Ses résultats seront ensuite comparés à ceux obtenus par les techniques biophysiques régulièrement utilisées en clinique.

Identification de nouvelles cibles thérapeutiques

D'un point de vue physiopathologique, la réponse du tissu cutané aux irradiations aiguës à forte dose peut être assimilée à un processus de réparation tissulaire pathologique, les composantes épidermiques, vasculaires et mésenchymateuses contribuant chacune à ce défaut de cicatrisation.

Des études histologiques, effectuées lors de différents cas d'accidents d'irradiation localisée, ont apporté une connaissance précise des différentes étapes de ce processus. Des études moléculaires de puce à ADN ont permis d'identifier notamment les principaux gènes impliqués dans la réponse vasculaire cutanée chez l'homme, pendant la phase de latence du syndrome cutané d'irradiation. L'expression de certains de ces gènes a été confirmée par des techniques de biologie moléculaire et leur implication fonctionnelle a été vérifiée chez l'animal.

FOCUS

AMÉLIORATION DU DIAGNOSTIC DU SYNDROME CUTANÉ D'IRRADIATION

L'IRSN a répondu en 2004 à un appel d'offres de la DGA pour l'amélioration du diagnostic du syndrome cutané d'irradiation.

La proposition de l'Institut a été retenue. Ce programme de recherche rassemble des cliniciens de l'hôpital Percy, des radiobiologistes de l'IRSN et du Centre de recherche du service de santé de l'armée (CRSSA) et des physiciens du Laboratoire d'étude et de recherche en instrumentation, signaux et systèmes (LERISS) de l'université de Paris-XII. Le programme est articulé autour de deux grands axes :

- le développement d'outils de dosimétrie des irradiations localisées, une thèse cofinancée par la DGA et l'IRSN a débuté en septembre 2004 ;
- l'étude des conséquences physiopathologiques d'une irradiation localisée sur le tissu cutané. L'évolution du tissu irradié vers la nécrose est une des conséquences possibles des irradiations localisées à forte dose, qui reste encore sans réponse médicale satisfaisante. Cette évolution se fait par poussées successives difficilement prévisibles. L'étude a pour objectif d'examiner le processus de réparation tissulaire pathologique après irradiation, en vue de définir de nouvelles actions thérapeutiques.

Cette recherche consolide les liens que l'IRSN a noués avec les structures hospitalières pouvant prendre en charge des victimes d'irradiation, notamment l'hôpital Percy, l'Institut apportant un support technique au suivi médical des victimes d'irradiations accidentelles.





Préparation d'échantillons après une analyse histologique.

L'importance de l'initiation et du maintien de l'activation de l'endothélium vasculaire après irradiation du tissu cutané a pu ainsi être démontrée expérimentalement. Des stratégies visant à contrôler cette atteinte structurale et fonctionnelle du compartiment vasculaire pourront donc être explorées à court terme.

Un article de synthèse a été soumis en 2004 pour publication.

Une approche thérapeutique des irradiations accidentelles

Le bilan des accidents radiologiques survenus au cours des dernières années montre que l'issue a été fatale, dans la plupart des cas, essentiellement par manque d'une stratégie thérapeutique adaptée à l'ensemble des dommages radio-induits. Le traitement d'un syndrome aigu d'irradiation reste difficile, du fait de l'atteinte simultanée de plusieurs fonctions physiologiques, et notamment du système

hématopoïétique, du système gastro-intestinal et du système cérébro-vasculaire. Un syndrome inflammatoire généralisé peut également apparaître, accompagné ou non de pathologies secondaires touchant le foie, les reins ou les poumons. Cet ensemble de pathologies est regroupé sous le terme de Syndrome de déficience multiviscérale (SDMV) radio-induit.

La thérapie cellulaire

La diminution ou la disparition des cellules souches normales, capables de régénérer les tissus après un traumatisme, semble être une cause possible du SDMV radio-induit. Dès lors, la thérapie cellulaire, qui consiste à apporter des cellules capables de réparer les tissus lésés, pourrait constituer une approche intéressante. Les travaux menés par l'IRSN dans le cadre d'une équipe mixte installée à l'hôpital Saint-Antoine (UPRES 16-38, Paris) sont ciblés sur la possibilité d'adapter les principes de la thérapie cellulaire au cas des victimes d'irradiation accidentelle pour corriger les déficits cellulaires dans chacun des tissus lésés.

Cette approche a d'abord été développée pour la moelle osseuse. Les résultats obtenus montrent que la technique d'expansion *ex vivo* de cellules hématopoïétiques est particulièrement efficace pour traiter une aplasie médullaire. L'adaptation de cette technique au cas d'une irradiation accidentelle a été testée sur un modèle expérimental d'irradiation hétérogène à forte dose de primate non humain. Des cellules médullaires ont été prélevées après irradiation, mises en expansion et réinjectées aux animaux, sept jours après l'irradiation ; les résultats obtenus ont montré un effet réel, mais minime, sur l'aplasie médullaire. Cependant, les animaux irradiés ont développé un SDMV, suggérant la nécessité d'utiliser d'autres



Accidents d'irradiation et de contamination - Mise en place d'un échantillon à mesurer par spectrométrie par RPE.



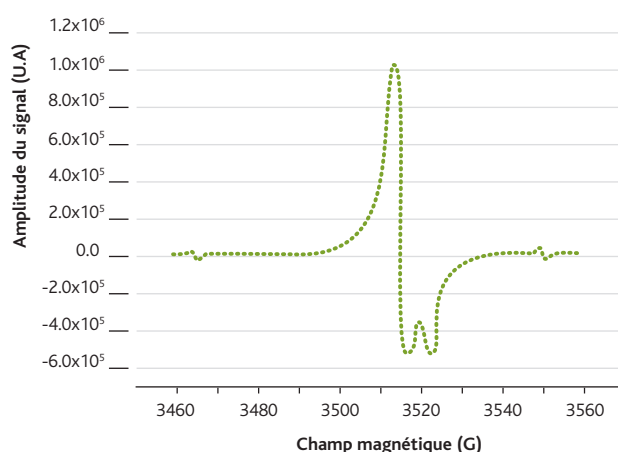
Remplissage de tubes avec le mélange fixateur pour fixation des chromosomes.

types cellulaires pour corriger les déficits fonctionnels observés. Dans cette optique, des études ont été engagées en 2004 visant à démontrer la possibilité de transplanter des cellules souches mésenchymateuses humaines (CSM) dans des souris immuno-déficientes (NOD-SCID) irradiées, dans lesquelles il est possible d'évaluer l'implantation, la prolifération et la différenciation des CSM humaines greffées. Ces études montrent que les CSM sont capables de s'implanter dans de nombreux organes à la suite d'une irradiation corporelle totale et qu'elles migrent préférentiellement vers les zones lésées à la suite d'une irradiation abdominale. Les résultats obtenus montrent également qu'une fois implantées, les CSM prolifèrent et se différencient en acquérant des caractéristiques correspondant aux tissus receveurs, en particulier pour le système vasculaire, le rein et le cerveau. Ces résultats conduisent à l'étude en cours des mécanismes moléculaires d'adressage des CSM vers les tissus lésés et leur implication dans la régénération fonctionnelle des tissus lésés.

La thérapie moléculaire

Un contrat européen, dénommé NAIMORI, a réuni entre 2001 et 2004 plusieurs équipes européennes (CIEMAT, Madrid, Espagne ; université Erasmus de Rotterdam, Pays-Bas ; ILM/université, Ulm, Allemagne ; CEA/Evry ; IRSN) pour évaluer la réponse des tissus hématopoïétiques et épidermiques humains aux radiations et chercher de nouvelles approches thérapeutiques pour l'aplasie médullaire, l'inflammation des tissus et le syndrome d'irradiation cutané. L'IRSN était responsable des travaux sur la caractérisation de la réponse inflammatoire généralisée et sa limitation par les cytokines. Le modèle expérimental retenu était l'irradiation du corps entier ou de l'abdomen de souris traitées ou non par des agents thérapeutiques.

La survie des animaux et le recueil de nombreux paramètres biologiques étaient complétés par une analyse histologique des tissus prélevés. L'association de la thrombopoïétine (TPO) et des interleukines (IL) 4 ou 11 s'est avérée plus efficace pour la survie des animaux que la TPO seule. Cette meilleure survie des animaux ne peut pas être expliquée uniquement par une reprise de la production de cellules sanguines ; les résultats suggèrent que le traitement combiné par TPO et interleukines diminue l'inflammation radio-induite en agissant sur la perméabilité vasculaire. Par ailleurs, dans le cas d'une irradiation abdominale seule, un effet à distance sur le poumon non compris dans le champ de l'irradiation a été mis en évidence. Cet effet sur le poumon pourrait résulter de l'action des médiateurs inflammatoires circulants provenant de la réponse gastro-intestinale à l'irradiation. L'ensemble des résultats obtenus dans ce programme européen a donné lieu à neuf publications scientifiques de l'IRSN. Il tend à montrer que les



Accidents d'irradiation et de contamination - Signal RPE de l'hydroxyapatite de l'émail dentaire à forte dose (60 Gy).



Changement de milieux de culture des cellules souches humaines adultes.

trois principaux types de tissus qui conditionnent le devenir des victimes d'irradiation sont les tissus hématopoïétiques, épithéliaux et vasculaires. La capacité de régénération des cellules souches responsables de la repopulation des tissus hématopoïétique et épidermique détermine la réponse de ces deux tissus. Simultanément, la réponse inflammatoire développée par les cellules endothéliales irradiées interfère avec la réparation tissulaire.

Mesure de dose par résonance paramagnétique électronique

L'IRSN étudie la spectrométrie par résonance paramagnétique électronique (RPE) afin de disposer d'une technique de dosimétrie permettant d'apprécier les doses reçues en différents endroits de l'organisme pour établir le meilleur diagnostic possible et proposer la stratégie thérapeutique la mieux adaptée. Cette technique consiste à évaluer les doses reçues par des échantillons biologiques qui conservent les radicaux libres créés par les rayon-

nements ionisants ; la quantité de radicaux libres est directement proportionnelle à la dose absorbée ; le nombre de radicaux libres est déterminé en plaçant les échantillons dans un champ magnétique et en quantifiant l'absorption d'une onde hyperfréquence dans les conditions de résonance.

Cette technique est opérationnelle à l'IRSN depuis quelques années pour de petits échantillons *ex vivo* nécessitant des prélèvements invasifs (os, émail dentaire, dentine) ou pour des matériaux provenant de l'environnement des victimes (sucres, etc.), pour des expositions à des photons ou à des électrons. Elle a été appliquée avec succès pour les victimes d'irradiations accidentelles en Géorgie et en Pologne. En 2004, cette technique a été étendue au cas d'une exposition dans un champ mixte (photons + neutrons) caractéristique d'un accident de criticité. En particulier, une étude a mis en évidence et quantifié la différence de sensibilité de la dentine et de l'émail dentaire à l'égard des photons et des neutrons. Ces propriétés dosimétriques ont permis, à partir de mesures de spectrométrie par RPE sur l'émail et la dentine, de déterminer expérimentalement les composantes photonique et neutronique d'un champ mixte. Les protocoles de mesures mis en place à l'IRSN ont été validés lors de la troisième intercomparaison internationale de dosimétrie par spectrométrie par RPE sur l'émail dentaire.

FOCUS

PROJET EUROPÉEN FIRST

Lors d'une irradiation thérapeutique pour le traitement d'un cancer, les tissus sains entourant la tumeur peuvent être lésés.

Ces lésions peuvent entraîner des conséquences graves, telles que l'aplasie tissulaire ou la fibrose. Leur existence limite l'efficacité du traitement par irradiation, en obligeant à réduire les doses reçues par les malades. En 2004, le projet FIRST a été accepté dans le cadre du 6e PCRD.

L'IRSN est responsable de l'étude du système gastro-intestinal. L'Institut est également impliqué dans l'étude des effets sur la peau, ainsi que dans l'étude sur la préparation des cellules souches mésenchymateuses à des fins de greffe.



Gestion des situations post-accidentelles

L'essentiel des recherches de l'IRSN sur la gestion des situations post-accidentelles s'est inscrit en 2004 dans le cadre des projets internationaux EURANOS et CORE

EURANOS est un projet coordonné par l'organisme allemand FzK, qui rassemble près de 50 équipes et 20 pays. Retenu par la Commission européenne dans le cadre du 6^e PCRD, il a notamment pour objectif de définir les actions envisageables pour réhabiliter les milieux agricoles et bâtis à la suite d'un accident entraînant une contamination radiologique durable. Les travaux ont débuté en 2004 par la mise en place, en France, de groupes de parties prenantes (instituts techniques agricoles,

services préfectoraux, élus, experts) qui seront chargés de proposer des stratégies de réhabilitation adaptées pour les différentes situations post-accidentelles : transition entre la phase d'urgence et le début de la phase post-accidentelle, les premières semaines après l'accident, les mois suivants, les années suivantes.

Le programme CORE vise la réhabilitation durable des conditions de vie des populations de quatre districts de Biélorussie contaminés par l'accident de Tchernobyl (Ukraine), à travers différentes actions dans les domaines du développement agricole, de la santé, de la protection radiologique et de l'éducation. L'IRSN y contribue dans les domaines de la santé et de l'éducation.

Une coopération internationale pour une meilleure maîtrise des risques radiologiques et nucléaires

La collaboration entre pays permet de mutualiser les moyens, d'enrichir les connaissances et de renforcer les compétences. Dans le domaine de la recherche en radioprotection, de la sûreté et de la sécurité nucléaires, l'ouverture internationale de l'IRSN se développe d'année en année. Elle vise principalement à l'approfondissement des connaissances scientifiques et techniques et au développement d'outils de modélisation des phénomènes.

En permettant d'accroître les connaissances, de compléter les outils disponibles, notamment les codes de calcul, et d'optimiser les méthodes, la coopération internationale développée par l'IRSN contribue à une meilleure appréciation des risques radiologiques et nucléaires et à l'amélioration de leur maîtrise. Les échanges et travaux sont menés dans le cadre d'accords de coopération bilatéraux ou multilatéraux, de programmes lancés par des instances communautaires ou internationales : programmes-cadres de recherche et de développement (PCRD) européens, projets réalisés sous les auspices de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie



IFA, réunion du comité directeur le 6 octobre 2004 à Kiev (Ukraine).

FOCUS

CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES RÉSULTATS DE L'IFA

L'IRSN, la GRS et le Centre de Tchernobyl ont organisé à Kiev (Ukraine), les 5 et 6 octobre 2004, une conférence internationale sur les résultats de l'Initiative franco-allemande pour Tchernobyl (IFA),

lancée en 1996 par les ministres français et allemand de l'Environnement, à l'occasion des dix ans de l'accident. Cette conférence a rassemblé environ 200 personnes d'Ukraine, de Biélorussie, de Russie, de l'Union européenne et d'organismes internationaux (BERD, CE et AIEA). En effet, si de nombreuses études ont été menées par le passé, principalement en Ukraine, Russie et Biélorussie, sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl du point de vue de la sûreté, de l'environnement et de la santé, les résultats étaient éparés, parfois ignorés, souvent hétérogènes. L'IFA a mobilisé de nombreuses équipes de scientifiques autour de 35 projets. Elle a permis de rassembler les données, de les valider et de les organiser dans des bases de données cohérentes, accessibles aux pouvoirs publics, aux chercheurs et au public. Il s'agissait de mettre à la disposition de la communauté internationale un outil unique de synthèse et de diffusion d'informations scientifiques utiles pour la modélisation des phénomènes, la gestion des situations de crise et le développement de systèmes de suivi des conséquences d'un accident sur la santé des populations. L'ensemble des données constituées sur les conséquences de l'accident sont accessibles sur le site Internet www.fgi.icc.gov.ua.



Tribune à la conférence internationale des 5 et 6 octobre 2004 à Kiev (Ukraine).

nucléaire (AEN). Ils s'inscrivent également dans le cadre de comités et groupes de travail de l'AIEA, de l'AEN, de l'UNSCEAR et de la Commission européenne, etc. Ces échanges et travaux conduisent à des conclusions qui peuvent bénéficier d'un consensus international.

En 2004, les activités de l'IRSN dans ce domaine ont porté sur la poursuite des projets du 5^e PCRD, la préparation et le lancement de nouveaux projets du 6^e PCRD, l'achèvement du programme de l'Initiative franco-allemande pour Tchernobyl et le renforcement de collaborations bilatérales, notamment avec les États-Unis et la Russie.

Coopération entre l'IRSN et le CPHR sur l'étude des conséquences de l'accident de Tchernobyl sur la santé des enfants

L'IRSN et le CPHR cubain ont lancé en 2004 une première action de coopération dans le cadre de la collaboration qu'ils ont engagée en 2002 en matière de protection de l'homme et de protection de l'environnement contre les rayonnements ionisants.

Ce projet s'appuie sur l'expérience du CPHR en matière de traitement d'enfants ukrainiens irradiés à la suite de l'accident de Tchernobyl (Ukraine). Environ 8 000 enfants ont en effet été accueillis à Cuba, depuis 1986, pour une prise en charge médicale dans le cadre d'un accord entre les gouvernements des deux pays.

En relation avec les organismes ukrainiens concernés, l'action porte sur l'étude et l'enrichissement de la base de données dosimétriques et médicales pour la période 1990-2004. Des contacts ont été pris avec les équipes médicales du centre cubain de Tarara, où les enfants ont été traités, pour compléter cette action. Enfin, la coopération entre l'IRSN et le CPHR en cours dans le domaine

L'IRSN a signé des accords de coopération avec les organismes de radioprotection, sûreté ou sécurité nucléaires de 27 pays :

Allemagne, Argentine, Belgique, Biélorussie, Bulgarie, Canada, Chine, Corée du Sud, Cuba, Égypte, Espagne, États-Unis, Finlande, Hongrie, Inde, Italie, Japon, Maroc, République tchèque, République slovaque, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Suède, Suisse, Tunisie, Ukraine.



1^{ère} réunion du comité directeur de SARNET, 2 avril 2004, au cours du 6^{ème} PCRD.

de l'assurance de la qualité, de la gestion des connaissances, de l'harmonisation des standards et des pratiques de sûreté.

Participation de l'IRSN au 6^e PCRD

Le 6^e PCRD (2002-2006) est orienté vers une intégration plus poussée des équipes en mutualisant les moyens, les compétences et les connaissances, notamment par le biais de la création de réseaux pérennes de laboratoires.

En 2004, l'IRSN a poursuivi ses travaux dans le cadre de projets retenus lors du premier appel à propositions :

- le réseau d'excellence SARNET, relatif aux accidents graves, piloté par l'IRSN, qui coordonne les efforts d'environ 250 chercheurs de 49 organismes différents ;

de la radiobiologie se poursuit, avec notamment l'accueil de deux stagiaires cubains dans les laboratoires de l'IRSN.

Participation de l'IRSN à la conférence AIEA de Pékin

L'IRSN s'est impliqué dans la conférence internationale organisée par l'AIEA, du 18 au 22 octobre 2004, à Pékin (Chine), sur le thème « Amélioration continue de la sûreté nucléaire dans un monde en évolution ». Le principal objectif de cette conférence était de contribuer à la définition du programme 2007-2011 de l'Agence, en matière de sûreté nucléaire, en favorisant les échanges de points de vue dans ce domaine.

Outre la présence d'experts en sûreté nucléaire, cette conférence a rassemblé de nombreux responsables d'organismes, venus débattre des grandes questions liées à la sûreté nucléaire.

Ainsi, le directeur général de l'IRSN est intervenu sur le sujet suivant : « Le défi du développement durable dans le domaine nucléaire : la recherche constitue plus que jamais une composante primordiale des politiques de sûreté nucléaire et de radioprotection ». Il a notamment insisté sur l'importance de faire évoluer et d'harmoniser les méthodes d'évaluation des risques pour répondre aux attentes de la société dans le domaine de la gestion des risques radiologiques et nucléaires. Plus globalement, cette conférence visait à apporter des éléments de réponse aux questions soulevées par la déréglementation des marchés de l'électricité, la diversification des technologies et la globalisation des économies, notamment dans les domaines

FOCUS

DÉVELOPPEMENT DE LA COOPÉRATION ENTRE L'IRSN ET LA NRC

En 2004, l'IRSN et la NRC (États-Unis) ont renforcé leur coopération bilatérale par de nombreux échanges en matière d'expérimentation et de modélisation des accidents graves.

En outre, la NRC a décidé de participer au programme sur les feux (PRISME) réalisé dans l'installation DIVA de Cadarache (Bouches-du-Rhône). De même, l'IRSN et la NRC coopèrent activement dans le domaine de la protection physique des matières et des installations nucléaires, notamment dans les transports de matières nucléaires. Par ailleurs, des discussions ont été engagées en octobre 2004 avec la NRC sur de nouveaux programmes expérimentaux, en particulier le programme TERME SOURCE, qui traitera entre autres de sujets liés aux rejets d'iode ou de produits de fission. Enfin, l'IRSN et la NRC poursuivent leur coopération dans le cadre du programme CABRI-Boucle à eau sur les accidents de réactivité pouvant affecter les réacteurs à eau sous pression.



- le projet ERICA, consacré à la protection de l'environnement contre les rayonnements, dans lequel l'IRSN participe à l'évaluation des transferts de radionucléides dans l'environnement et des risques qui en résultent ;
- le projet EURANOS, tourné vers le traitement de la phase post-accidentelle, dans le cadre duquel l'IRSN travaille sur la définition des contre-mesures appropriées ;
- le projet NF-PRO, consacré à la modélisation du comportement des produits de fission dans la géosphère, en vue d'apprécier la performance de leur confinement dans un stockage ;

- le projet COWAM 2 sur la gouvernance des risques associés aux stockages de déchets.
- Au cours de l'année 2004, l'IRSN a également participé à la préparation de deux projets dans le domaine de la radioprotection, qui ont été retenus dans le cadre de l'appel à propositions de 2004. Il s'agit de CHRONIC RAD EPID, projet piloté par l'IRSN, qui traitera de l'épidémiologie des cancers associés aux expositions chroniques à des rayonnements ionisants, et de CONRAD, projet consacré à la dosimétrie.

Développement de la coopération entre l'IRSN et des instituts russes

En 2004, l'IRSN a renforcé sa coopération avec les instituts russes, mise en place au début des années 1990, dans le cadre de l'accord entre le CEA et le ministère russe de l'Énergie atomique (Minatom, devenu Rosatom).

Cette coopération couvre désormais un large domaine : la protection de l'homme, la criticité, la conception et la sûreté des réacteurs à métaux liquides, le combustible et les accidents graves des réacteurs à eau.

S'agissant de la protection de l'homme, les sujets concernent l'étude des banques de tissus de victimes irradiées ainsi que l'évaluation des pathologies qui pourraient résulter de contaminations chroniques par du césium.

En outre, l'année 2004 a été marquée par le renforcement de la coopération dans le domaine de la gestion de crise entre l'IRSN et Rosatom. Des actions relatives à la comparaison des procédures de gestion de crise vont être menées, incluant les outils, à l'organisation d'exercices de crise internationaux concernant les transports de matières nucléaires, à la participation aux exercices en France et en Russie, et à la stratégie d'intervention en situation d'urgence et en phase post-accidentelle.

FOCUS

FIN DU PROJET EUROPÉEN ASTRID

Le projet ASTRID, mis en place par la Commission européenne dans le cadre du 5^e PCRD et coordonné par l'IRSN, s'est achevé fin 2004.

Huit partenaires y ont participé, dont les autorités de sûreté finlandaise (STUK), hongroise (HAEA) et suédoise (SKI) et des instituts techniques tels que FzK, GRS (Allemagne) et VUJE (Slovaquie).

Le premier objectif du projet consistait à définir une méthode d'évaluation de l'état de l'installation en cas d'accident affectant un réacteur à eau légère européen (PWR, VVER, BWR), de façon à structurer et harmoniser l'expertise technique au niveau européen : cet objectif a été atteint par la définition d'une méthode d'expertise.

Le second objectif était de développer un outil de crise informatisé en support de la méthode d'expertise, pour diagnostiquer l'état de l'installation accidentée et évaluer très rapidement les rejets (réels ou potentiels) à partir de rejets précalculés. Il devait permettre également d'évaluer de façon plus fine l'évolution possible d'un accident, en simulant le comportement thermohydraulique de la chaudière, l'émission et les transferts de produits de fission dans l'installation. L'outil est à ce jour dans un état préopérationnel : une collaboration avec la GRS contribuera à le rendre opérationnel.



Réunion plénière de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), en octobre 2004, à Pékin (Chine).

Nouvelles recommandations en matière de radioprotection

L'année 2004 a été marquée par le processus de consultation engagé par la CIPR auprès des professionnels de la radioprotection, des autorités nationales, des organisations internationales et plus largement du public, pour recueillir leurs observations sur un projet de nouvelles recommandations générales en matière de radioprotection. La doctrine en radioprotection s'élabore au niveau international dans diverses instances à caractère scientifique, technique ou réglementaire. Selon le statut et la mission des agences internationales concernées, des spécialistes de l'IRSN participent à ces travaux, soit à titre d'expert, soit au titre des missions de service public, soit en soutien aux autorités. Il faut rappeler à ce sujet que les publications de la CIPR servent de base à la rédaction des textes réglementaires internationaux, notamment les directives européennes et les normes de base de l'AIEA. Les instances internationales concernées sont : l'UNSCEAR, la CIPR, l'AIEA (RASSC), Euratom (groupes d'experts des articles 31 et 37), l'AEN (CRPPH), l'IUR et les organismes de normalisation en radioprotection (ISO, CEI). Dans ce contexte, l'IRSN a renforcé et structuré son action de concertation interne et externe. Au sein de l'Institut, un réseau a été mis en place en 2004, regroupant les experts de l'IRSN participant aux instances internationales, ainsi que des représentants des directions concernées. Parmi les séminaires organisés, le premier, préparé en 2004, s'est tenu le 27 janvier 2005 et a donné lieu à la présentation du projet de futures recommandations par les agents de l'IRSN participant aux travaux de la CIPR. En externe, l'Institut a mis en place un groupe de travail pluraliste dont l'objectif est

la concertation avec les acteurs concernés (autorités, industriels, associatifs, institutionnels). Ce groupe s'est réuni deux fois en 2004 et a permis de diffuser des informations sur les travaux de la CIPR et des principales autres agences internationales compétentes en radioprotection. Enfin, pour accompagner l'évolution de la doctrine en radioprotection, l'IRSN a souhaité approfondir certains sujets qui font débat, comme les effets des faibles doses (à la suite notamment de la publication par des experts non institutionnels d'un rapport remettant en cause la méthode de la CIPR pour estimer le risque lié à la contamination interne) et la notion de protection de l'environnement, en vue de mettre à jour le positionnement de l'Institut. Concernant la protection de l'environnement, il faut souligner que, jusqu'à présent, l'approche était marquée par le postulat de la CIPR selon lequel, l'homme étant l'être vivant le plus radiosensible, les mesures prises pour la protection de ce dernier devaient garantir celle de l'environnement. Au cours de la dernière décennie, l'absence de démonstration scientifique de cette affirmation et la montée en puissance des préoccupations environnementales, mises en évidence par de nombreuses conférences internationales, ont conduit à réexaminer ce postulat. Il était dès lors important que l'Institut, qui est l'un des rares organismes dans le monde à mener un programme de recherches en radio-écologie, élabore une note de doctrine dans ce domaine. En outre, l'IRSN a entrepris la traduction en français de la première publication de la CIPR consacrée à ce sujet (publication 91 diffusée en 2003 et intitulée « Cadre méthodologique pour évaluer l'impact des rayonnements sur les espèces non humaines »).



Une session de formation à la métrologie du radon au Vésinet (Yvelines).

Contribution à la formation en radioprotection

Contribuer à la formation en radioprotection des professionnels de la santé et des personnes professionnellement exposées est une des missions de service public assignées à l'IRSN lors de sa création. Cette activité s'appuie sur une réglementation récente visant à mieux prendre en compte les risques auxquels ces professionnels sont exposés.

Une activité au service de la **prévention des risques** et de leurs **conséquences possibles**

En tant qu'établissement de recherche et d'expertise, l'IRSN a vocation à dispenser des formations et à contribuer à l'enseignement dans ses domaines de compétence : la sûreté et la sécurité nucléaires ainsi que la radioprotection.

La finalité de ces formations et de ces enseignements est non seulement de diffuser des connaissances théoriques, mais aussi de promouvoir des outils et des méthodes visant à maîtriser les risques nucléaires et radiologiques dans tous les secteurs d'activité concernés. La formation et l'enseignement doivent contribuer à promouvoir la prévention et attestent ainsi de l'utilité sociale de l'Institut auprès des différents acteurs économiques, industriels ou institutionnels impliqués dans ces activités à risques.

C'est la raison pour laquelle, au-delà de la participation des agents de l'IRSN à des enseignements dans des cursus universitaires – effective et reconnue de longue date –, le décret relatif aux missions de l'Institut met l'accent sur la formation profes-

sionnelle en radioprotection. Il pointe explicitement celle des personnels médicaux ou paramédicaux intervenant en imagerie médicale ou en thérapie sous rayonnements ionisants. Cette mention particulière du secteur médical fait écho aux préoccupations des pouvoirs publics dans ce domaine et au développement récent d'une législation et d'une réglementation qui vise à mieux protéger les personnels et les patients.

Dans ce contexte, l'IRSN doit :

- poursuivre, voire renforcer sa présence dans des cursus universitaires ou scolaires, en mettant en avant un projet pédagogique spécifique en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection ;
 - créer les conditions du développement d'un secteur de formation professionnelle s'adressant aux différentes catégories professionnelles concernées et témoignant de l'implication de l'Institut dans la prévention « de proximité ».
- Après la constitution au sein de l'IRSN d'un pôle destiné à la formation professionnelle, l'année 2004 a été consacrée à la réflexion d'une stratégie à mettre en œuvre sur ce sujet et à la mise en place

20
sessions de formation
proposées et réalisées



FOCUS

FORMATION SUR LE RADON

de plusieurs actions de formation pour des catégories de professionnels spécifiques.

En matière de stratégie, il s'agissait de fixer des objectifs de développement en tenant compte du rôle de référence de l'IRSN en sûreté nucléaire et radioprotection, d'identifier des partenaires, de repérer les catégories de professionnels prioritaires et enfin de concilier la qualité des formations avec l'équilibre économique d'une activité qui relève du secteur concurrentiel.

Les premiers modules de formation réalisés en 2004 ont été sélectionnés sur la base des besoins exprimés et de leur faisabilité. Les catégories privilégiées ont été les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants : les agents de l'IRSN, les organismes agréés chargés de la mesure du radon dans les établissements ouverts au public, les médecins du travail et les personnes en charge du suivi dosimétrique des travailleurs, ainsi que l'inspection du travail.

À la demande de la commission locale d'information de Saclay (Essonne), une session sur « la radioprotection, la citoyenneté et la gouvernance » a été organisée pour ses membres, des élus locaux, des représentants d'associations et des enseignants. Enfin, plusieurs actions ponctuelles de sensibilisation ont été conduites en milieu hospitalier, prémices à des actions plus soutenues au cours de l'année 2005.

En 2004, l'ensemble des sessions a été animé par des cadres de l'IRSN. Plusieurs autres offres de formation en radioprotection en milieu médical ont été proposées. Ces offres peuvent être complétées par des sessions organisées à la demande de clients. Plusieurs dossiers de ce type ont été instruits en 2004 et devraient aboutir en 2005.

Depuis 2004, l'IRSN organise des stages de formation à la métrologie du radon pour les organismes souhaitant s'engager dans une démarche d'agrément pour la mesure du radon dans les lieux ouverts au public. Ces formations sont rendues nécessaires par l'évolution récente de la réglementation en ce domaine.

En effet, la nouvelle réglementation française sur la gestion du risque lié au radon, consécutive à la directive 96/29/Euratom, introduit l'obligation pour les propriétaires de lieux ouverts au public de « mettre en œuvre des mesures de surveillance de l'exposition aux rayonnements naturels lorsque ceux-ci sont susceptibles de porter atteinte à la santé ». Ces mesures doivent être réalisées par l'IRSN ou par un organisme agréé (arrêté du 15 juillet 2003). L'obtention de l'agrément délivré par le ministre chargé de la Santé après avis de la Commission nationale d'agrément est subordonnée, entre autres, à la justification de la compétence de l'organisme résultant de la pratique ou de la participation à une formation spécialisée dans la métrologie du radon.

L'objectif de la formation est de familiariser les stagiaires aux différentes techniques de dépistage du radon ainsi qu'aux investigations nécessaires lorsque la présence de ce gaz a été mise en évidence. En 2004, plus d'une cinquantaine de demandes d'agrément ont été déposées devant la commission et l'IRSN a accueilli une vingtaine de stagiaires. Quatre sessions de formation sont prévues en 2005.



Les stagiaires suivent une formation qui mêle les cours théoriques et la mise en pratique.



Chaque session de formation accueille une quinzaine de participants extérieurs.

Sessions de formation réalisées en 2004

Intitulé des sessions ou des actions de formation professionnelle	Durée des sessions	Nombre de sessions en 2004	Publics visés	Nombre de stagiaires formés
Métrologie du radon	3 jours	2	Organismes agréés, experts immobiliers	21
Gestion de la dosimétrie au travail	2 jours	2	Médecins du travail, personnes compétentes en radioprotection	12
Formation à la radioprotection des travailleurs exposés	1 jour	7	Personnels exposés	110
Inspection de la radioprotection en milieu de travail	3 jours	2	Inspecteurs et contrôleurs du travail, médecins inspecteurs	40
Actions de sensibilisation en milieu médical	1 jour	6	Médecins et personnels hospitaliers, médecins du travail	80
Radioprotection, citoyenneté et gouvernance	1 jour	1	Élus, membres des CLI, enseignants	25
TOTAL		20		288



Veille radiologique du territoire français en temps réel dans la salle de télésurveillance des réseaux d'alerte au Vésinet (Yvelines).

Veille permanente en matière de radioprotection

Les missions de service public confiées à l'IRSN en matière de radioprotection concernent à la fois la surveillance radiologique de l'environnement français, l'évaluation de l'exposition humaine et la gestion des sources de rayonnement.

La surveillance radiologique de l'environnement

Une surveillance radiologique de l'environnement est assurée par l'IRSN, à l'aide de moyens de télémesure et d'analyses pratiquées en laboratoire sur des prélèvements environnementaux. Elle s'exerce sur l'ensemble du territoire à l'aide de stations situées à proximité ou non des installations pouvant rejeter des radionucléides dans l'environnement.

Les réseaux de télésurveillance

Ils assurent une veille radiologique en temps réel sur l'environnement par le biais de balises autonomes qui réalisent des mesures en continu de la radioactivité du milieu dans lequel elles sont implantées. Plus précisément, deux réseaux permettent de surveiller l'air (Téléray pour le débit de doses gamma ambiant et SARA pour les poussières atmosphériques). Deux autres réseaux permettent de surveiller l'eau (Hydrotéléray pour les fleuves et Téléhydro pour les eaux usées des agglomérations).

Dès qu'une augmentation de radioactivité est détectée, une alarme est envoyée à l'IRSN et une première investigation est menée. Une dizaine de déclenchements de balises « Téléray » se sont produits en 2004 : la plupart avaient une origine météorologique ou provenaient du passage à proximité de la balise d'un transport de colis radioactifs.

Par ailleurs, l'année 2004 a été marquée par la mise en place d'un « superviseur » permettant de centraliser l'ensemble des données des réseaux de télésurveillance, sur un serveur indépendant du réseau d'entreprise. Parallèlement, une grande partie du matériel a été modernisé en vue d'améliorer l'acquisition et le traitement des données.

Les réseaux de prélèvements

Ils complètent la surveillance environnementale par des mesures effectuées sur des échantillons provenant de différents milieux de l'environnement. En 2004, 32 727 échantillons ont été analysés. Les prélèvements sont réalisés par l'IRSN ou des correspondants techniques (DDASS, marine

500
points de prélèvement
sur l'ensemble du territoire

1000
points de mesure
dosimétrique

213
balises
constituant le réseau
de télésurveillance
du territoire

Près de
100 000
analyses radiologiques
réalisées



Un réseau de prélèvements manuels complète la surveillance environnementale opérée par les balises.

nationale, Météo France, EDF, COGEMA, etc.). Ils permettent de suivre l'évolution des niveaux d'activité dans les différents milieux auxquels la population est exposée. Le cas échéant, ces réseaux peuvent mettre en évidence des situations anormales et permettre d'en estimer les conséquences. En 2004, cela a été le cas pour une étude particulière relative aux conséquences des crues du Rhône de décembre 2003.

Vers une optimisation de la surveillance et plus de lisibilité

Afin d'améliorer la gestion de la masse des données acquises par les réseaux, l'IRSN a engagé des travaux visant à aboutir à un outil de gestion informatique unique. Une réflexion a été entamée en 2004 pour préciser les missions de cette surveillance. Elle conduira à un redéploiement des moyens associés dans les années qui viennent. Enfin, un nouveau site Internet (<http://eau.irsnn.org/>) a été mis en ligne fin 2004. Le public peut y consulter les données relatives à la surveillance radiologique des différents milieux aquatiques (eaux de mer, de pluie, de rivières, eaux souterraines, etc.).

La mission de veille permanente exige, de la part des laboratoires, une

rigueur dans l'analyse des prélèvements, que l'Institut souhaite afficher à travers l'accréditation de ses laboratoires de mesure (*cf. chapitre Qualité, partie 3*).

Surveillance de l'environnement en Polynésie française

Dès 1962, la France a mis en place un réseau de surveillance radiologique en Polynésie. Depuis 1976, l'Institut gère en propre un réseau réparti sur sept îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva et Tubuai). La superficie totale concernée par cette surveillance est équivalente à celle de l'Europe. La stratégie d'échantillonnage retenue permet de déterminer l'exposition des personnes par exposition externe, inhalation et ingestion. L'effort principal est porté sur cette dernière composante, pour laquelle un plan d'échantillonnage a été établi sur la base d'une enquête alimentaire actualisée en 1991. Les analyses de radioactivité portent sur les émetteurs gamma, le strontium et les plutoniums. Le césium 137, détecté à de très faibles niveaux d'activité dans la quasi-totalité des 400 échantillons prélevés, est le radionucléide dominant. La dernière évaluation dosimétrique réalisée par l'IRSN concerne l'année 2003. La dose totale « ajoutée » attribuable aux retombées de tous les essais aériens d'armes est inférieure à 5 μSv par an. L'IRSN rédige chaque année un rapport qui est disponible sur le site Internet de l'Institut.



Intérieur d'une balise SARA (surveillance des aérosols).



L'équipe de l'unité d'expertise des sources.

Le suivi des sources de rayonnements ionisants

Concernant le suivi des sources de rayonnements ionisants, l'IRSN a conduit en 2004 les principales actions suivantes :

- instruction technique de dix-huit dossiers de demande initiale ou de renouvellement d'autorisation de détention ou de distribution de sources, en réponse à des saisines des autorités compétentes (DGSNR, AFSSAPS, DSND, préfectures),
- instruction technique de trois demandes de dispense de CAMARI (certificat d'aptitude à manipuler des appareils de radiographie ou de radioscopie industrielle) à la demande de directions départementales du travail,
- rédaction de quatre avis sur des sujets techniques ou réglementaires liés à l'utilisation des sources de rayonnements ionisants :
 - critères d'exemption d'autorisation pour les générateurs électriques industriels ;
 - projet d'arrêt sur le suivi des mouvements de sources ;
 - équivalences européennes de la personne compétente en radioprotection ;
 - catégorisation des sources scellées selon l'AIEA et selon la directive européenne 2003/122 ; application au cas de la France.

Par ailleurs, les indicateurs ci-dessous illustrent pour l'année 2004 l'importance de la gestion de l'inventaire national des sources de rayonnements ionisants confiée à l'IRSN :

- 2 400 autorisations délivrées, renouvelées ou transférées entre autorités ;
- 4 700 demandes de fournitures de sources scellées ;
- 1 500 demandes de fournitures de sources non scellées ;
- 3 300 attestations de reprise ;
- 460 demandes d'exportation de sources ;
- 300 demandes d'importation de sources.

Le grand nombre de dossiers d'autorisation ayant fait l'objet de modifications en 2004 s'explique par les transferts de compétences entre autorités. Ces modifications doivent être reportées par l'IRSN dans l'inventaire national.





L'exposition itinérante à La Rochelle en juin et juillet 2004.

Information du public

L'information du public en matière de radioprotection et de sûreté nucléaire est une mission de l'IRSN. À ce titre, l'Institut développe différentes actions permettant de répondre aux préoccupations de la société sur des risques technologiques et sanitaires liés au nucléaire. Il s'agit également de répondre au désir d'implication des citoyens dans ce domaine. Une démarche qui illustre la volonté de l'Institut d'être à l'écoute des attentes de la société.

Actions d'information et de communication

Les actions d'information menées par l'IRSN en matière de radioprotection et de sûreté nucléaire doivent contribuer à éduquer le public sur les risques et leur prévention. Elles permettent également de valoriser la production et l'activité scientifique de l'Institut.

Information du grand public

Destinée principalement au grand public et aux scolaires, l'exposition itinérante « Le nucléaire sous haute surveillance » a été conçue en partenariat avec la DGSNR. Cette exposition interactive et pédagogique aborde au moyen de panneaux, de maquettes, de jeux informatiques et de vidéos de nombreux sujets liés au nucléaire : la radioactivité et la santé, les réacteurs nucléaires, l'accident de Tchernobyl, le cycle du combustible. Elle est accueillie chaque année dans les communes qui le souhaitent. En 2004, l'exposition a été présentée à Saint-Dié (Vosges), Metz (Moselle), La Rochelle (Charente-Maritime), Martigues (Bouches-du-Rhône) : un total de 6 500 visiteurs dont 1 120

élèves, sur 25 semaines d'exploitation. En parallèle à l'exposition, des cycles de conférences scientifiques ont été organisés sur des sujets d'intérêt général : l'accident de Tchernobyl, les déchets radioactifs, les installations nucléaires et les séismes, les centrales face aux phénomènes climatiques extrêmes, rayonnements ionisants et la santé. L'IRSN a participé à divers événements destinés à sensibiliser le grand public aux enjeux de la science. Ainsi, le 15 mai, à l'occasion de la Journée portes ouvertes de Croissy-sur-Seine (Yvelines), l'Institut a accueilli de nombreux visiteurs dans ses laboratoires du Vésinet. Des ateliers étaient proposés



Journée portes ouvertes sur le site du Vésinet en mai 2004.

Exposition itinérante
« Le nucléaire sous
haute surveillance »

6 500

visiteurs
dont 1 120 élèves ;
4 villes visitées

15

conférences
organisées

778

demandes
d'information
traitées via la boîte
contact du site Internet

12 000

exemplaires
du rapport
d'activité diffusés



L'exposition itinérante présentée aux élèves de collège.

sur la mesure et la surveillance de la radioactivité dans l'environnement, l'intervention et l'assistance en radioprotection.

Dans la même optique, l'IRSN a participé à la Fête de la science (du 15 au 17 octobre). Cette opération a pour objectif de familiariser les visiteurs aux sciences et technologies et de leur permettre de mieux appréhender les enjeux de la recherche. L'Institut a tenu un stand au Village des sciences, installé par le ministère dans le jardin du Luxembourg. 16 000 personnes sont venues visiter le village. L'IRSN a par ailleurs pris part aux opérations organisées par la mairie de Clamart (Hauts-de-Seine), lors d'une conférence, le 15 octobre, sur le nucléaire et les rayonnements ionisants au service de la santé.

Information des professionnels

Pour contribuer à informer les professionnels de l'environnement, de la santé et de la sûreté nucléaire, l'IRSN participe à des salons et à des congrès. En 2004, l'Institut a notamment présenté ses activités d'expertise en radioprotection lors de congrès et salons spécifiques : médecins (MEDEC, 16-19 mars), radiologues (journées de la Société française de radiologie, 1^{er}-2 octobre), personnes compétentes en radioprotection (congrès de la SFRP, décembre). À l'occasion du MEDEC, l'Institut a co-organisé le 17 mars une conférence sur les « effets sur la santé après irradiation du fœtus et de l'enfant ». L'IRSN a aussi participé au 11^e Congrès de l'IRPA (23-28 mai), organisé à Madrid (Espagne). Lors de ce congrès, qui rassemble tous les deux ans les experts du domaine, des scientifiques de l'IRSN ont présenté leurs travaux récents et l'Institut a tenu un stand institutionnel. Par ailleurs, l'Institut a participé à Pollutec

(30 novembre-3 décembre), salon des professionnels de l'environnement, où il a notamment présenté sur son stand les prestations, liées au nucléaire ou non, qu'il peut proposer aux industriels et aux collectivités locales.

Enfin, le 6^e Forum EUROSAFE s'est déroulé à Berlin les 8 et 9 novembre 2004 : organisé par l'IRSN et la GRS, il a rassemblé des experts de la sûreté des installations nucléaires, de la gestion des déchets, de la radioprotection et de la sécurité des matières nucléaires (cf. Focus p.86).

Internet

Vecteur majeur de diffusion de l'information, Internet est un outil appelé à se développer. Créé en 2002, le site institutionnel irsn.org a vu sa fréquentation augmenter sensiblement en 2004, avec plus de 690 000 connexions, soit une moyenne de 25 000 visiteurs uniques chaque mois, des professionnels pour l'essentiel. Les principales actions menées en 2004 sur le site ont consisté en un effort de publication et de mise à jour de l'information et d'adéquation avec l'identité graphique des sites thématiques de l'Institut. Au-delà des informations présentées dans le site institutionnel, l'IRSN administre des sites spécifiques, notamment liés à des bases de données



Le stand de l'IRSN au salon Pollutec à Lyon, en décembre 2004.

Participation à
5
salons professionnels
et manifestations
publiques

30 000
livrets d'information
et 4500 fiches
de formation diffusés

55 548
visites en 2004,
soit environ 2000
visiteurs uniques
par mois, sur le site
scientifique de l'IRSN



Nucléon guide le public à la découverte de l'IRSN.

FOCUS

FORUM EUROSAFE 2004

L'IRSN et la GRS ont conjointement organisé à Berlin, les 8 et 9 novembre 2004, le 6^e Forum EUROSAFE sur le sujet : « Apprendre de l'expérience : une pierre angulaire de la sécurité nucléaire ».

Fruit d'une démarche européenne initiée en 1999 par l'IRSN et son homologue allemand la GRS, EUROSAFE a pour objectif de favoriser la convergence des pratiques techniques de sûreté nucléaire en Europe. Elle s'appuie sur un forum annuel, un magazine scientifique et technique semestriel et un site Internet.

Le Forum a accueilli environ 450 experts d'organismes techniques de sûreté, d'instituts de recherche, d'autorités réglementaires de sûreté, de sociétés d'électricité, d'industries, des pouvoirs publics et d'organisations non gouvernementales de l'Union européenne, de Suisse et des pays d'Europe de l'Est.

Destinées à favoriser une collaboration plus étroite entre les organismes techniques de sûreté, ces journées à caractère scientifique et technique ont permis cette année de débattre des questions relatives au retour d'expérience en matière de sûreté nucléaire. Les derniers travaux de l'IRSN, de la GRS, de leurs partenaires de l'Union européenne et de l'Europe de l'Est ont été présentés.

Toutes les informations sur le forum, les textes des présentations ainsi que les numéros de la Tribune EUROSAFE sont disponibles sur le site www.eurosafe-forum.org. Les prochaines journées, organisées conjointement par AVN, IRSN et la GRS, auront lieu à Bruxelles les 7 et 8 novembre 2005.



Le forum Eurosafe en novembre 2004 à Berlin.

ou à des projets suivis par l'Institut : site scientifique, SISERI, CRISTAL, portail sur la surveillance de l'environnement, etc. Par ailleurs, un travail a été engagé autour de la boîte de contacts, afin d'améliorer la gestion et de répondre au mieux aux demandes des visiteurs. Enfin, une réflexion a été engagée sur la refonte du site [irsn.org](http://www.irsn.org), pour en faire un site portail, structuré par public.

En matière de communication scientifique, la refonte du site Internet scientifique de l'IRSN (<http://net-science.irsn.fr/>) a été lancée pour améliorer son ergonomie et sa lisibilité.

Ce site a pour vocation de faire connaître à la communauté scientifique les équipes et les travaux de l'Institut. La mise en ligne de la nouvelle version est prévue à la fin du premier semestre 2005. Des actions ont été également menées pour que le site soit référencé par les moteurs de recherche Internet.

Édition

En 2004, l'IRSN a poursuivi l'édition de documents d'information destinés au grand public, aux professionnels et aux scientifiques. Ainsi, l'IRSN met à disposition du public une collection de livrets thématiques sur la radioécologie, les transports de matières radioactives, le radon, les déchets radioactifs, etc. En 2004, cette collection a été complétée par un nouveau document sur le césium. Par ailleurs, une collection intitulée « Collection des professionnels » a été créée et six livrets ont été mis à jour et diffusés lors des salons et congrès auxquels l'Institut a participé. Ils traitent des sujets suivants :

- assister les équipes médicales en cas d'accident radiologique ;
- exposition médicale aux rayonnements ionisants ;
- rayonnements ionisants et santé ;



Information du public au cours de l'exposition itinérante de l'IRSN.

- prestations dans les domaines non nucléaires ;
- radioprotection opérationnelle, prestations et expertises ;
- face à un accident nucléaire.

De même, la collection de livres scientifiques IRSN a été rénovée et développée et trois sous-collections ont été créées. « Lignes directrices » est constituée de guides ou de livres de recommandations, tel le tout nouvel ouvrage *Vos patients et les rayons*, un guide pour les médecins praticiens, traduction d'une publication de la CIPR ; l'IRSN remplit ici sa mission de service public en diffusant gratuitement ce guide au corps médical. « Colloques » rassemble des contributions à des colloques ou congrès organisés ou co-organisés par l'IRSN (en 2004 par exemple, ECORAD). « Sciences et Techniques » réunit des sommes de connaissances en radioprotection ou en sûreté nucléaire. Ces livres sont coordonnés et en majorité rédigés par des scientifiques de l'IRSN, avec la participation d'un ou plusieurs auteurs extérieurs. La qualité de ces ouvrages est garantie par un comité de lecture. Enfin, l'IRSN publie chaque année son rapport d'activité, diffusé aux tutelles, aux leaders d'opinion

et aux relais que sont la presse et les associations, aussi bien en France qu'à l'international. En 2004, le rapport d'activité 2003 a été édité à 9 000 exemplaires pour sa version française et à 3 000 exemplaires pour la version anglaise.





9

exercices
nationaux
de crise nucléaire
(secteur civil)

2

gréements
réels du Centre
Technique de Crise
de l'IRSN

24

réunions tenues
par les groupes
permanents

Appui et concours technique aux pouvoirs publics

Qu'il intervienne pour le compte de l'autorité (concours technique) ou comme appui technique, l'IRSN mène ses actions dans une logique de partenariat avec les pouvoirs publics.

Les axes de progrès de l'IRSN en matière d'expertise et d'appui technique sont la poursuite du dialogue technique avec les industriels, la formalisation de la démarche technique de l'Institut avec la publication de documents de doctrine.

> 90 Appui technique en matière de risque nucléaire et radiologique



> 128 Appui opérationnel en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique





L'IRSN analyse les dossiers techniques fournis par EDF.

Appui technique en matière de risque nucléaire et radiologique

À la demande des autorités, l'IRSN expertise les dossiers techniques fournis par les exploitants. Ces dossiers concernent la sûreté des réacteurs, des usines, des transports et du démantèlement, ainsi que la gestion des déchets, la prévention contre les séismes. Ils concernent également la radioprotection de l'homme et de l'environnement. L'Institut analyse l'ensemble des risques et formule un avis sur les dispositions proposées pour maîtriser ces risques. Ses avis sont ensuite transmis aux autorités ou aux groupes permanents d'experts.

Analyse de la sûreté des réacteurs

608
avis techniques
aux pouvoirs publics
(hors activités
intéressant la défense)

Près de
600
participations
aux inspections des INB

107
rapports d'essais rendus
relatifs aux exercices
d'intercomparaisons de
mesure de la radioactivité
dans l'environnement

150 000
travailleurs suivis par
dosimétrie externe

21 089
analyses
radiotoxicologiques

125
anthropogammamétries

L'IRSN assure un appui technique à la DGSNR pour évaluer la sûreté et la radioprotection en exploitation des 58 réacteurs du parc électronucléaire français. L'Institut a mené en particulier des actions sur les risques de colmatage des filtres des puisards et sur la protection de ces réacteurs face aux agressions externes. Enfin, il évalue la sûreté du projet de réacteur nucléaire EPR et le suivi des réacteurs d'expérimentation.

Évaluation des réacteurs à eau sous pression (REP)

L'appui de l'IRSN porte en particulier sur l'examen des programmes de travaux et contrôles réalisés lors des arrêts pour le renouvellement du combustible, l'examen des règles générales d'exploitation, la participation aux visites de surveillance et l'analyse du retour d'expérience. Par ailleurs, l'IRSN participe à la définition des sujets abordés lors des réexamens de sûreté des réacteurs. Il examine les données remises

par EDF sur ces sujets, dans le cadre d'une instruction menée conjointement avec EDF, aux réexamens de sûreté des réacteurs, demandés par la DGSNR à l'échéance des visites décennales.

Examen des programmes de travaux et contrôles réalisés lors des arrêts pour le renouvellement du combustible et la maintenance des réacteurs
Durant l'année 2004, environ une quarantaine d'arrêts, d'une durée de trois à huit semaines, ont fait l'objet d'un examen par l'IRSN. Pour chacun, l'Institut a étudié les programmes de travaux et de contrôles prévus par l'exploitant, suivi l'exécution de ces opérations et examiné les résultats des essais de redémarrage.

Examen des règles générales d'exploitation
L'exploitant fait évoluer les spécifications techniques d'exploitation (STE) et les règles d'essais périodiques en fonction des modifications apportées aux réacteurs et du retour d'expérience. L'IRSN porte un avis sur l'acceptabilité de ces documents, du point de vue de la sûreté. De plus, en 2004, l'IRSN a émis



La centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin).

une centaine d'avis sur l'acceptabilité des demandes de dérogation aux STE soumises pas EDF, pour des raisons diverses (aléas d'exploitation, indisponibilités de matériels, etc.). Ainsi, après la canicule de l'été 2003, l'IRSN a analysé un dossier d'amendement aux STE, visant à assouplir certaines contraintes d'exploitation portant sur la température maximale à l'intérieur du bâtiment du réacteur ou sur la durée d'indisponibilité calendaire annuelle autorisée pour le nettoyage de certains échangeurs de chaleur. Sur ce dernier point, au vu des justifications fournies, l'IRSN n'a pas pu donner un avis favorable à la DGSNR.

Réexamens de sûreté des réacteurs et rapports de sûreté associés

Durant l'année 2004, l'IRSN a poursuivi le réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe en vue de la réalisation respectivement des troisième et deuxième visites décennales. Chaque réacteur fait l'objet d'un réexamen de sûreté tous les dix ans. Ce réexamen comprend la vérification du maintien de la conformité des centrales à leurs référentiels de conception et d'exploitation, et l'étude des évolutions possibles de ces référentiels et des modifications associées. Ces évolutions visent à améliorer la sûreté des réacteurs. Elles résultent de la prise en compte du retour d'expérience, du progrès des connaissances, ainsi que des nouvelles dispositions de sûreté retenues pour les réacteurs les plus récents, lorsque cela est techniquement réalisable et que le gain pour la sûreté est significatif.

Analyse du retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs

L'IRSN examine le retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs sous divers aspects, et en particulier les événements et anomalies.

- Les 681 événements significatifs déclarés par

EDF en 2004 ont été examinés et sont décrits dans une base de données informatique. Les incidents les plus caractéristiques d'une dégradation de la sûreté ont fait ou feront l'objet d'une analyse approfondie et, pour certains, considérés comme précurseurs, d'une analyse à l'aide des études probabilistes de façon à apprécier leur gravité en termes de risque d'endommagement du cœur du

15
évaluations de dose
par dosimétrie biologique

134
expertises
en radioprotection
de l'homme

FOCUS

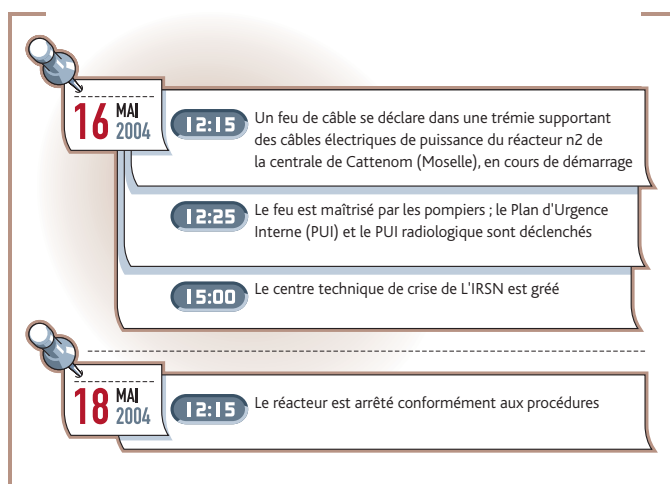
INCIDENT À FESSENHEIM

Le 24 janvier 2004, une erreur dans la mise en configuration d'un circuit, résultant d'une mauvaise préparation d'une intervention, a entraîné l'envoi de résines dans le circuit primaire du réacteur n°1 de la centrale de Fessenheim (Haut-Rhin).

Malgré la remise en conformité rapide du circuit, les résines ont provoqué le colmatage de lignes d'échantillonnage, entraînant la perte de la surveillance automatique de la concentration en bore de l'eau du circuit primaire, et de plusieurs filtres sur la ligne d'injection aux joints des pompes primaires, entraînant la perte de la fonction d'injection. La multiplication des remplacements de filtres en vue de recouvrer cette dernière fonction a entraîné la contamination de sept personnes. L'IRSN a examiné les modalités proposées par EDF pour la mise à l'arrêt du réacteur et plus particulièrement les risques présentés par la présence de ces résines dans les circuits, en termes de refroidissement (bouchages de tuyauteries) et de disponibilité des grappes d'arrêt du réacteur (blocages lors de la chute). L'IRSN a ensuite examiné les résultats des contrôles des matériels concernés (pompes, capteurs de mesure, grappes de contrôle du réacteur) et le programme de surveillance proposé par EDF pour suivre l'évolution de différents paramètres pendant le cycle de fonctionnement suivant. L'IRSN a recommandé qu'EDF porte une attention particulière au temps de chute des grappes et à l'encrassement de certains filtres qui pourrait être dû à la présence de résidus de résines. Une analyse approfondie de cet événement a été engagée par l'IRSN et fera l'objet d'un rapport en 2005.



Gestion des événements significatifs.



réacteur (cf. Focus p.99). Par ailleurs, l'IRSN transmet à l'AIEA des rapports au sujet des incidents les plus conséquents, dans le cadre du réseau d'échange international « Incident Reporting System ».

- Chaque trimestre, une réunion entre EDF, la DGSNR et l'IRSN permet d'identifier les événements qui présentent un caractère générique pour le parc et de porter un avis sur le traitement qu'il convient de leur appliquer. À cette occasion, les enseignements tirés par EDF et l'IRSN de certains événements survenus dans les centrales étrangères sont examinés.
- Tous les trois ans, un examen du retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs du parc est présenté au Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires (cf. Focus p.94).

FOCUS

INCIDENT À CATTENOM

Le 16 mai 2004, un feu de câbles se déclare dans une trémie supportant des câbles électriques de puissance du réacteur n° 2 de la centrale de Cattenom (Moselle), en cours de démarrage. Le feu a été maîtrisé par les pompiers et le Plan d'Urgence Interne (PUI) déclenché. Le centre technique de crise de l'IRSN a alors été gréé (cf. Focus p.129) et le réacteur arrêté conformément aux procédures.

Compte tenu des conséquences possibles d'un tel incident sur la sûreté, l'IRSN a procédé en 2004 à une analyse détaillée de cet incident sur différents aspects :

- Conception : l'origine de l'incident est un échauffement des câbles 6,6 kV des pompes d'eau de refroidissement vers le condenseur. Il s'est avéré que les moteurs des pompes des tranches de Cattenom nécessitent une puissance de 9 MW au lieu de 5 MW pour les autres réacteurs de 1 300 MWe. Les câbles n'ont donc pas été dimensionnés correctement et la trémie concernée ayant été fermée récemment, suite à des travaux de modification, l'évacuation de la chaleur dégagée ne pouvait plus se faire correctement. Les câbles endommagés ont été changés avant le redémarrage du réacteur, les trémies ont été réouvertes provisoirement. L'augmentation de la section des câbles pour éviter leur échauffement sur les autres tranches du site est prévue.

- Déroulement de l'alerte incendie : la rapidité et l'efficacité des secours extérieurs ont été évaluées.

- Facteurs humains : la conduite du réacteur dans ces circonstances a été examinée.

Cette analyse fera l'objet d'un rapport de l'IRSN, dont la sortie est prévue en 2005. Cet événement a fait l'objet d'une déclaration à l'AIEA.

Par ailleurs, l'IRSN a évalué les dispositions prises par EDF en vue du redémarrage du réacteur et a recommandé qu'un programme de contrôle des températures des câbles et des trémies soit mis en œuvre par EDF.



La centrale de Belleville-sur-Loire (Cher).

■ Afin d'apprécier de manière globale les évolutions de la sûreté d'exploitation du parc, les tendances et les dérives éventuelles, l'IRSN a développé en 2004 des outils d'analyse statistique des événements qui permettent l'élaboration d'indicateurs.

Visites de surveillance

En 2004, l'IRSN a apporté un appui aux inspecteurs des installations nucléaires de base pour la préparation de près de 300 visites de surveillance sur le parc des réacteurs EDF. L'IRSN a accompagné les inspecteurs lors de certaines visites.

Risque de colmatage des filtres des puisards de l'enceinte de confinement

Le colmatage des puisards par des débris, issus en particulier des calorifuges, après une brèche du circuit primaire peut remettre en cause le refroidissement du cœur à long terme. EDF a donc entrepris l'étude de modifications de conception pour éliminer ce risque. Début 2004, EDF a transmis le recueil d'hypothèses qu'il a retenu pour définir les modifications à apporter à l'ensemble des centrales françaises : la réalisation des modifications est prévue à partir de 2005. Les conclusions de l'examen de ce recueil ont été présentées par l'IRSN devant le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires le 22 décembre 2004. L'IRSN a tenu compte dans son avis des premiers résultats d'un programme expérimental qu'il a lancé en vue d'évaluer le risque de formation de composés chimiques lors de la phase de recirculation à long terme. Ce groupe a conclu que certaines hypothèses doivent être confortées par EDF, mais que les solutions retenues par celle-ci doivent être déployées le plus rapidement possible sur les centrales.

FOCUS

DÉFAUT D'ISOLEMENT D'ACTIONNEURS DE VANNES

En septembre 2003, un défaut d'isolement, mis en évidence par un arrosage intempestif de deux coffrets électriques de raccordement de vannes, s'est produit sur le réacteur 2 de la centrale de Penly (Seine-Maritime).

Les vannes concernées, situées à l'intérieur du bâtiment du réacteur, doivent pouvoir fonctionner dans des conditions ambiantes dégradées, incluant notamment le cas d'une aspersion. Au cours des contrôles effectués lors de l'arrêt suivant du réacteur, début 2004, l'exploitant a détecté des entailles dans l'isolant des fils électriques alimentant ces vannes. Le contrôle d'autres actionneurs soumis aux mêmes exigences de qualification a fait apparaître un grand nombre de défauts similaires.

Ces défauts étaient de nature à mettre en cause le fonctionnement de ces actionneurs en situation accidentelle, donc le repli du réacteur en état sûr. De plus, ils pouvaient concerner d'autres réacteurs du parc. C'est pourquoi l'IRSN a transmis à la DGSNR, en 2004, un avis recommandant de contrôler, lors des arrêts, l'ensemble des réacteurs du parc. EDF a confirmé ultérieurement l'aspect générique des défauts, dont l'origine était une mauvaise utilisation de l'outillage de retrait de l'isolant avant connexion.

Compte tenu de l'ampleur des travaux à réaliser pour remettre les réacteurs en état, l'IRSN a préconisé de s'intéresser en premier lieu à un noyau minimal d'actionneurs. L'Institut a tenu compte de leurs poids respectifs dans la probabilité de fusion du cœur et du risque qu'un défaut sur un seul actionneur provoque la perte d'un tableau

électrique complet, et donc de l'ensemble des actionneurs qui en dépendent.



Un défaut d'isolement s'est produit sur le réacteur 2 en septembre 2003 à la centrale nucléaire de Penly (Seine-Maritime).



Les experts du risque inondation.

FOCUS

EXAMEN DU RETOUR D'EXPÉRIENCE 2000-2002

Le 2 décembre 2004, l'IRSN a présenté au Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires ses conclusions sur l'examen du retour d'expérience de l'exploitation des REP sur la période 2000 à 2002. Cet examen, réalisé tous les trois ans, permet de mener une instruction transverse sur des sujets importants pour la sûreté, mis en évidence sur la période considérée.

En 2004, les sujets suivants ont été traités : exploitation des événements significatifs pour la sûreté, bilan de l'application des spécifications techniques d'exploitation, bilan des essais de redémarrage et des essais périodiques, analyse des pertes de tableaux électriques, dérives de la mesure des capteurs de débit et de température, fiabilité des diesels et retour d'expérience des équipements de contrôle-commande pour les tranches de 900 MWe et de 1 300 MWe.

Il ressort des conclusions du rapport présenté par l'IRSN au GPR qu'EDF devra engager un certain nombre d'actions pour améliorer la sûreté sur les sujets examinés, en particulier sur les dérives de la mesure des capteurs de débit et de température.



Examen par l'IRSN du retour d'expérience de l'exploitation des REP.

Protection des réacteurs face aux agressions d'origine externe

Dans ce domaine, l'année 2004 a été consacrée principalement à la poursuite des évaluations de sûreté relatives à la protection des réacteurs contre les inondations externes. Ainsi, les Cotes majorées de sécurité (CMS) et les dossiers des sites de Belleville (Cher) et du Bugey (Ain), sites jugés prioritaires du fait des renforcements importants des protections existantes prévus par EDF, ont été examinés. À cette occasion, l'IRSN a pu se prononcer sur ces renforcements, ainsi que sur les mesures transitoires proposées par EDF pour le laps de temps nécessaire à la mise en place des modifications sur les sites. L'amélioration des documents de conduite a également été examinée en 2004.

Plans d'urgence internes (PUI)

Pour ce qui concerne les Plans d'urgence internes des centrales d'EDF, un nouveau référentiel a été défini en 2003. L'analyse des dossiers correspondants a été poursuivie à un rythme soutenu en 2004 : Cruas (Ardèche), Chinon, Bugey, Nogent (Aube), Penly (Seine-Maritime), Gravelines (Nord), Saint-Alban (Isère). L'année a aussi vu s'achever l'instruction du dossier d'EDF prévoyant la mise en place d'une organisation PUI spécifique en cas d'inondation pouvant affecter l'ensemble des réacteurs d'un même site.

Évaluation de la sûreté du projet de réacteur nucléaire EPR

Depuis l'élaboration des « Technical Guidelines for the Design and Construction / Directives techniques pour la conception et la construction » (octobre 2000) et dans l'attente d'une demande d'autorisation de création, l'IRSN poursuit l'examen de la sûreté du projet EPR sur des dossiers techniques qui :



Une vue aérienne du futur site EPR à Flamanville (Manche).

- ont trait au respect des objectifs généraux de sûreté,
- concernent des solutions techniques innovantes (récupérateur de corium, contrôle-commande informatisé, etc.),
- ont évolué depuis les directives techniques (enceinte de confinement avec peau métallique, etc.),
- déclinent, pour le projet EPR, des évolutions concernant le parc de réacteurs en exploitation (inondations, canicule, etc.).

Au cours de l'année 2004, un ensemble de dossiers techniques d'EDF concernant le projet EPR ont été examinés par l'IRSN et ont fait l'objet de présentations et de discussions lors de réunions

du Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires. Ces dossiers concernent :

- la plate-forme informatique Teleperm XS, qui servira au développement du système de protection du réacteur,
- la nouvelle conception de l'enceinte de confinement, constituée d'une enceinte interne en béton précontraint avec une peau métallique et d'une enceinte externe en béton,
- l'amélioration de la radioprotection des travailleurs,
- les principes de la conduite informatisée,
- la conception du récupérateur de corium (cf. *Focus p. 105*), permettant de maintenir l'intégrité du

FOCUS

RÉACTEUR EPR : COLLABORATION AVEC LA FINLANDE

En décembre 2003, à la suite de la décision du Conseil d'État finlandais de construire un cinquième réacteur nucléaire en Finlande, l'exploitant TVO a choisi de construire un réacteur de type EPR et a déposé une demande d'autorisation de création auprès du gouvernement finlandais.

Le dossier a fait l'objet d'un examen technique par l'autorité de sûreté finlandaise (STUK) au cours de l'année 2004. Des échanges techniques entre la DGSNR et l'IRSN d'une part, STUK d'autre part, ont eu lieu au cours de l'année 2004, pour discuter des évolutions du projet EPR qui pourraient être demandées par STUK, sur la base de la réglementation finlandaise actuelle en matière de sûreté des réacteurs nucléaires.



Projet de l'EPR en cours de réalisation sur le site d'Olkiluoto en Finlande.

Les discussions ont notamment porté sur l'exclusion de rupture pour les tuyauteries principales des circuits primaire et secondaire, la limitation des conséquences des accidents de rupture de tubes de générateur de vapeur, la conception du récupérateur de corium, le contrôle-commande numérique. Une harmonisation des positions a été recherchée sur ces différents sujets. Le gouvernement finlandais a délivré l'autorisation de construction en février 2005. La discussion avec STUK sera poursuivie de manière approfondie au cours des phases ultérieures de développement et de réalisation des projets EPR en Finlande et en France.



Échanges et explications sur l'installation CABRI d'une équipe sûreté des réacteurs de l'IRSN.

FOCUS

SÛRETÉ DU RÉACTEUR EXPÉRIMENTAL CABRI

En 2004, l'IRSN a examiné le rapport préliminaire de sûreté présenté par le CEA pour appuyer sa demande de modification de l'installation CABRI.

Cet examen a notamment concerné :

- la conception et le dimensionnement de la boucle à eau sous pression qui sera placée au centre du cœur du réacteur ;
- l'utilisation du zircaloy pour la fabrication de la partie en pile de cette boucle ;
- la réévaluation sismique de l'installation ;
- la liste des conditions de fonctionnement retenues pour la démonstration de sûreté ;
- les conséquences radiologiques des accidents enveloppes retenus.

L'analyse de l'IRSN tient compte des spécificités du réacteur CABRI :

- son fonctionnement n'est pas permanent (quelques jours par an seulement) ;
- la première barrière de la boucle est l'enveloppe du fluide sous pression (la gaine du crayon expérimental peut être rompue au cours de l'essai) ;
- une interaction combustible-eau pourrait entraîner un pic de pression dans le circuit primaire de la boucle, dont il doit être tenu compte pour le dimensionnement de celle-ci ;
- le zircaloy utilisé pour la fabrication de la partie en pile de la boucle est un matériau fragile ;
- des effluents de très haute activité peuvent résulter des expérimentations.

Cette analyse a été présentée devant le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires lors de trois réunions.

confinement du réacteur lors de situations accidentelles avec fusion du cœur,

- les situations accidentelles de dilution hétérogène du bore dans le circuit primaire,
- la conception du système d'injection de sécurité,
- le traitement des défaillances multiples d'équipements non qualifiés en cas de séisme,
- les cumuls envisageables d'agressions internes et externes et d'événements internes à retenir pour la conception du réacteur.

Par ailleurs, les propositions d'EDF concernant la prise en compte du risque d'impact d'un avion commercial ont été examinées et discutées lors d'une réunion du groupe restreint chargé des réacteurs nucléaires.

Un avis a de plus été formulé par l'IRSN sur la démarche de qualification des équipements qu'EDF compte mettre en œuvre pour le réacteur EPR. En octobre 2004, EDF a choisi le site de Flamanville (Manche) pour construire un premier réacteur et a déposé un dossier auprès de la Commission nationale du débat public. À l'issue de cette étape, EDF devrait déposer la demande d'autorisation de création du réacteur. Il fournira le rapport préliminaire de sûreté, qui sera alors examiné par l'IRSN.

Suivi des réacteurs d'expérimentation

En 2004, le travail d'expertise de l'IRSN concernant les réacteurs de recherche et les réacteurs à neutrons rapides a principalement concerné CABRI, PHEBUS, le réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin (RHF) et PHENIX.



Évaluation de la sûreté du réacteur Phénix.

L'analyse du rapport préliminaire de sûreté du réacteur CABRI, modifié par l'installation d'une boucle à eau sous pression, a été présentée lors de deux réunions devant le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires. D'une façon générale, le travail accompli a conduit à examiner en détail tous les aspects de la sûreté de ce réacteur, selon une approche similaire à celle adoptée pour les réacteurs de puissance, mais en tenant compte des spécificités d'exploitation de l'installation (cf. Focus p.96).

L'IRSN a par ailleurs examiné les compléments demandés à l'exploitant du réacteur PHEBUS, concernant notamment les critères d'arrêt, en préalable à la réalisation, en novembre 2004, de l'essai PHEBUS-FPT3.

De même, l'Institut a étudié en 2004 la proposition de l'exploitant du réacteur à haut flux en matière de classement sismique des équipements et d'exigences fonctionnelles associées ; cette proposition vise à répondre à une recommandation formulée par le Groupe permanent en mai 2002, à l'occasion du réexamen de sûreté du RHF.

Au mois de janvier 2003, le redémarrage du réacteur PHENIX a été autorisé pour une durée limitée à 720 jours équivalents de fonctionnement à pleine puissance ; son arrêt définitif est prévu en 2008. En 2004, l'IRSN a évalué la sûreté d'irradiations expérimentales réalisées dans ce réacteur, dont certaines entrent dans le cadre des actions de recherche menées dans le cadre de la loi de 1991 sur la gestion des déchets de haute activité à vie

longue. Par ailleurs, l'IRSN a examiné les démonstrations de l'exploitant quant aux conséquences pour la sûreté des générateurs de vapeur de certains « désordres » constatés dans deux modules d'un générateur de vapeur (notamment la déformation de grilles de maintien des tubes d'eau), ainsi que la proposition de contrôles renforcés des modules des générateurs de vapeur. L'IRSN a également étudié des dossiers relatifs à la prévention de la ruine du caisson d'un générateur de vapeur en cas de rupture simultanée d'un module en sodium et d'un tube d'eau. De plus, l'IRSN a évalué les études du CEA ayant pour objectif de montrer que la fusion d'un assemblage combustible ne pourrait pas se propager au-delà des six assemblages voisins.



Réacteur PHÉBUS : piscine de stockage des dispositifs d'essai.



L'IRSN mène des expertises en matière de génie civil.

Appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation

En 2004, les activités de l'IRSN d'appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation ont notamment concerné des travaux en matière de génie civil, de thermohydraulique et d'EPS.

Génie civil

En préparation des troisièmes visites décennales des centrales de 900 MWe, l'IRSN a effectué un réexamen de la conception et du dimensionnement des ouvrages de génie civil. L'IRSN a évalué le comportement de certains ouvrages, comme les bâtiments électriques, en cas de séisme, ou en cas d'explosion externe. L'IRSN a poursuivi ses actions d'analyse du comportement des enceintes de confinement en tenant compte des effets du vieillissement des structures et des situations accidentelles susceptibles de mettre en cause leur étanchéité. Pour valoriser ses capacités en matière de simulation numérique, l'IRSN a participé à un exercice international d'intercomparaison calculs-essais organisé par l'OCDE-AEN, portant sur des maquettes d'enceintes testées aux États-Unis.

Dans le cadre du retour d'expérience des inondations de 1999, l'IRSN a examiné en 2004 la stabilité des digues de protection des sites de Belleville (Cher), Fessenheim (Haut-Rhin) et Bugey (Ain). De façon générique, l'IRSN s'intéresse au suivi en service des ouvrages de génie civil et au traitement par EDF des écarts de conformité identifiés : défauts d'ancrage d'équipements ou de réservoirs, etc. Pour ce qui concerne le suivi des enceintes de confi-

nement, l'IRSN a examiné les épreuves réalisées en 2004 sur les sites de Golfech (Tarn-et-Garonne) et de Cattenom (Moselle).

Dans le cadre du projet EPR, l'examen par l'IRSN de la conception des ouvrages de génie civil a été poursuivi. En particulier, l'enceinte de confinement et l'aptitude de l'installation à faire face à l'impact intentionnel d'un avion commercial ont fait l'objet d'avis présentés devant les groupes d'experts compétents.

Enfin, pour ce qui concerne l'évolution des textes réglementaires en liaison avec l'accroissement des connaissances scientifiques, l'IRSN a poursuivi ses travaux en vue d'une révision de la règle fondamentale de sûreté relative à la conception parasismique des INB.

Études probabilistes de sûreté de niveau 1

Les études probabilistes de sûreté (EPS) aident à apprécier les dispositions retenues par les exploitants, grâce à une investigation systématique des scénarios accidentels. Elles permettent notamment de mieux pondérer l'importance pour la sûreté des problèmes identifiés lors de la conception ou de l'exploitation et ainsi de mettre en avant, le cas échéant, des points à améliorer en priorité. Une EPS 1 traite des scénarios menant à la fusion du cœur et détermine leurs fréquences. L'année 2004 a vu l'aboutissement de l'EPS 1 des centrales de 900 MWe utilisant une conduite « événementielle ». Le rapport de synthèse correspondant a été diffusé en septembre 2004.



Études thermohydrauliques
à l'aide du code CATHARE.

Cette étude est régulièrement utilisée dans le cadre des évaluations de sûreté, notamment pour l'appréciation des incidents précurseurs et des demandes de dérogation aux spécifications techniques d'exploitation.

Une révision de l'EPS 1 a été engagée en 2004 pour prendre en compte la conduite de type « approche par états », en utilisant la méthode PANAME développée par l'IRSN pour la quantification de la fiabilité des actions de conduite.

Les enseignements tirés de cette étude ont été utilisés dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des

centrales de 900 MWe. L'étude de l'IRSN a ainsi permis d'identifier des sujets pour lesquels l'intérêt de modification de conception ou d'exploitation devrait être examiné par EDF.

Thermohydraulique

L'IRSN mène, à l'aide du code CATHARE, des études thermohydrauliques en support à l'analyse de sûreté pour comprendre des phénomènes physiques mal maîtrisés, ou enfin pour s'approprier de nouveaux outils.

En 2004, des calculs relatifs à l'accident de perte totale de l'alimentation en eau des générateurs

FOCUS

ÉTUDE COMPARATIVE DES EPS APPLIQUÉES AUX ÉVÉNEMENTS SIGNIFICATIFS POUR LA SÛRETÉ

L'IRSN réalise des évaluations probabilistes pour les événements significatifs pour la sûreté pouvant avoir les conséquences les plus importantes.

Une dizaine d'événements environ, survenus dans des centrales françaises ou étrangères, sont sélectionnés chaque année. Ces études visent à apprécier les accroissements de probabilité de fusion du cœur résultant de ces événements.

Elles aident à définir les dispositions qui permettraient d'en réduire les conséquences pour la sûreté. Ces parades peuvent être d'ordre organisationnel ou matériel. Ces études permettent de déterminer, parmi tous les scénarios qui conduisent



Réunion de quantification des événements au service d'évaluation des réacteurs à eau sous pression.

à la fusion du cœur, ceux qui sont notablement influencés par l'événement étudié, et donc ceux sur lesquels il faut agir en priorité pour réduire les conséquences possibles. En 2004, l'IRSN a terminé une comparaison des méthodes d'analyse probabiliste appliquées aux événements, en collaboration avec les organismes de sûreté allemand (GRS) et japonais (NUPEC). À partir de trois cas concrets d'événements significatifs, cet exercice a mis en évidence que les approches des trois organismes étaient similaires mais qu'une harmonisation des modèles probabilistes serait souhaitable.



Salle de développement du simulateur SIPA.

de vapeur ont été effectués pour le futur réacteur EPR. Dans le cadre de l'examen de la tenue des cuves en service des réacteurs de 900 MWe, sujet qui sera présenté à la Section permanente nucléaire en 2005, des contre-calculs ont été menés afin d'apprécier le caractère enveloppe des études thermohydrauliques effectuées par EDF.

L'IRSN a réalisé en 2004 des calculs pour une trentaine de têtes de séquence de l'EPS de niveau 2 à l'aide des simulateurs SIPA-SCAR. L'Institut a également poursuivi l'étude du phénomène de dilution « inhérente » ; une telle dilution de bore peut survenir lors d'une brèche primaire, par arrêt de l'envoi, dans le cœur, d'eau « claire » (sans bore), accumulée dans les boîtes à eau et les tubes des générateurs de vapeur lors de la reprise de la circulation naturelle (sans les pompes primaires). L'étude comprend des calculs de thermohydraulique fine et des calculs CATHARE simulant l'installation PKL utilisée pour l'étude des phénomènes de dilution « inhérente » dans le cadre des projets de l'OCDE. Enfin, pour se doter d'un outil permettant d'expertiser les études à venir d'EDF, l'IRSN a entamé des études relatives à l'accident de rupture d'une tuyauterie de vapeur.

Simulateur SIPA 2

Le simulateur SIPA 2 est utilisé à l'IRSN pour élaborer des scénarios d'exercices de crise, effectuer des formations à la physique et à la conduite des réacteurs, et réaliser des études relatives au

comportement thermohydraulique des centrales et à leur conduite dans des conditions accidentelles. Deux configurations du simulateur sont actuellement en exploitation, l'une dans laquelle la chaudière (circuits primaire et secondaire) est simulée au moyen du code CATHARE-SIMU pour les réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe et l'autre, depuis début 2004, dans laquelle la chaudière et le circuit de refroidissement à l'arrêt sont simulés par le code CATHARE 2 V2.5 (SCAR). La première version est utilisée pour les formations (neuf sessions d'une semaine par an relatives au fonctionnement normal, aux accidents de dimensionnement et aux accidents hors dimensionnement), pour les préparations des exercices de crise à la charge de l'IRSN : centrales de Gravelines (Nord), Nogent (Aube) et Le Blayais (Gironde) en 2004 et pour des études relatives aux centrales de 1 300 MWe.

La seconde version est utilisée pour les études relatives aux centrales de 900 MWe, avec, en 2004, le calcul de têtes de séquences accidentelles dans les états en puissance et dans les états à l'arrêt pour l'EPS2 900, et l'étude de la conduite en cas de rupture d'un tube de générateur de vapeur, dans le cadre de l'examen du dossier Parité MOX transmis par EDF (cf. *Focus* p. 102).

Parallèlement à ces activités, l'année 2004 a été consacrée à une réflexion approfondie sur la rénovation du simulateur SIPA 2, qui débutera en 2005.



La centrale de Tricastin, à Pierrelatte (Drôme).

Vieillessement des réacteurs à eau sous pression

Dans le cadre de ses travaux concernant le vieillissement des REP, l'IRSN a poursuivi en 2004 des études sur le vieillissement des matériels électriques. Ces études ont été menées selon trois axes :

- l'évaluation de l'impact du vieillissement des batteries au plomb dites stationnaires, utilisées actuellement dans les REP, sur leur aptitude à fonctionner sous et après des sollicitations sismiques. En effet, le surdimensionnement de certaines batteries pourrait conduire EDF à vouloir les utiliser dans des conditions mettant en cause leur disponibilité en cas de sollicitations sismiques. Malgré une dégradation visible de leur état après une séquence de vieillissement accéléré, les batteries testées ont montré un bon comportement électrique et mécanique au cours et à l'issue des essais sismiques ;
- l'analyse de l'évolution dans le temps de la fiabilité de certains composants électriques importants pour la sûreté, à partir d'une analyse

statistique des données concernant les défaillances survenues lors de l'exploitation de ces composants ;

■ une enquête sur l'obsolescence et le vieillissement des équipements électriques auprès de 15 industriels, dans différents domaines d'activité. Cela a permis de disposer d'un retour d'expérience sur leurs pratiques et leurs stratégies de gestion des équipements électriques pendant leur utilisation et leur stockage sur de longues durées. Les difficultés, les problèmes rencontrés et les phénomènes de vieillissement associés ont été recensés. Ces informations contribueront aux expertises réalisées par l'IRSN en la matière.



L'IRSN mène des études sur le vieillissement des batteries au plomb.





Les experts IRSN ayant participé à l'avis sur le dossier « Parité MOX ».

Combustible en fonctionnement normal et accidentel

L'IRSN assure un appui technique à la DGSNR pour l'examen des gestions de combustible proposées par EDF et notamment pour les évolutions de gestion prévues par l'exploitant d'ici 2007.

Définition :
le **taux de combustion**
(exprimé en GWj/t)
caractérise la
quantité d'énergie
produite par tonne
de combustible.

EDF a prévu de mettre en place de nouvelles gestions du combustible :

- Parité MOX pour des centrales de 900 MWe CPY (augmentation du **taux de combustion** du combustible MOX à 52 GWj/t en valeur maximale moyenne assemblage) ;
- GALICE pour les centrales de 1 300 MWe (augmentation du taux de combustion du combustible UO₂ à 60 GWj/t) ;
- ALCADÉ pour les centrales de 1 450 MWe (aug-

mentation du taux de combustion du combustible UO₂ jusqu'à 52 GWj/t).

Chaque nouvelle gestion du combustible fait l'objet d'un processus d'approbation par la DGSNR qui nécessite trois phases d'examen par l'IRSN :

- la faisabilité de la gestion ;
- la mise à jour du dossier de sûreté (révision des études du rapport de sûreté, dossier général d'évaluation de la sûreté des recharges) ;
- la mise à jour du dossier d'exploitation (révision des règles générales d'exploitation).

L'année 2004 a comporté l'instruction du dossier de sûreté de la gestion Parité MOX (cf. *Focus* p. 102) et du dossier de faisabilité de la gestion GALICE. L'augmentation des performances du combustible implique en effet une réduction des marges de sûreté. La démonstration de l'acceptabilité d'une

FOCUS

AVIS DE L'IRSN SUR LE DOSSIER « PARITÉ MOX »

EDF a prévu de faire évoluer la gestion des combustibles MOX, utilisés conjointement avec les combustibles UO₂ dans 20 réacteurs en France, par la mise en œuvre d'une nouvelle gestion dénommée « Parité MOX ».

Les réacteurs en question sont actuellement exploités selon une gestion du combustible dite hybride : les assemblages UO₂ demeurent quatre cycles en réacteur contre trois cycles pour les assemblages MOX. L'objectif de la gestion Parité MOX est de porter à quatre le nombre de cycles d'irradiation des assemblages MOX. Cette nouvelle gestion nécessitera une augmentation du taux d'enrichissement des combustibles MOX et conduira de fait à une augmentation du taux de combustion maximal des assemblages MOX.

L'acceptabilité des propositions d'EDF a fait l'objet d'une instruction entre mi-2001 et mi-2004. À l'issue de son examen, l'IRSN a émis en 2004 un avis défavorable sur la mise en œuvre de la nouvelle gestion telle que proposée par EDF. Les réserves de l'Institut portent essentiellement sur les insuffisances des justifications apportées par EDF en ce qui concerne le bon comportement du combustible en fonctionnement normal (épaisseur maximale d'oxyde de zirconium sur les gaines, pression interne maximale du crayon au cours de son irradiation). Des éléments justificatifs complémentaires sont donc attendus d'EDF.



Pastille d'UO₂ constituant le combustible d'un REP.

nouvelle gestion de combustible nécessite en général l'utilisation de nouvelles méthodes pour les études de sûreté, reposant notamment sur l'utilisation d'outils de calcul en trois dimensions (3D), réduisant ainsi les conservatismes introduits par les méthodes découplées utilisées lors de la conception des centrales.

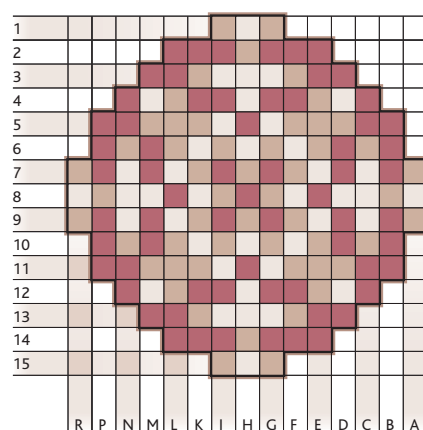
On peut citer à ce sujet :

- l'utilisation du code CATHARE pour l'analyse des études d'accident par perte de réfrigérant primaire, la mise en œuvre de la méthode déterministe réaliste couplée à une méthode statistique crayon chaud ;
- l'utilisation d'une méthode 3D cinétique pour l'étude de l'accident d'éjection d'une grappe de contrôle.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'une nouvelle gestion peut nécessiter des évolutions des combustibles. Ainsi, pour la gestion GALICE, une évolution du produit combustible s'avère nécessaire pour respecter les critères de conception : celle-ci

concerne l'utilisation de l'alliage M5 comme matériau de gainage et de structure de l'assemblage (AFA 3GLr AA). En 2004, l'IRSN a donc mené l'examen des dossiers relatifs à cet assemblage, dont l'introduction en réacteur est en effet nécessaire quelques années avant la mise en œuvre d'une nouvelle gestion du combustible.

Enfin, l'IRSN a examiné des dossiers relatifs aux combustibles étrangers acquis par EDF dans le cadre de sa politique de diversification des approvisionnements en combustible. Cela concerne les assemblages ENUSA qui sont chargés dans les réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe.



Type
d'assemblages :

- Neuf
- 2^e cycle
- 3^e cycle

Plan de rechargement d'un réacteur à eau pressurisée.



Une partie des équipes IRSN d'analyses et d'études des risques associés aux accidents graves.

Examen des risques associés aux accidents graves de fusion de cœur

L'examen des risques associés aux accidents de fusion du cœur pour les réacteurs de puissance est une action supportée par des programmes de recherche et de développement, et jalonnée par la tenue de réunions du Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires traitant de sujets particuliers, choisis en fonction de l'avancée des connaissances.

Réacteurs à eau en exploitation

Dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe (VD3 900), l'IRSN a présenté au Groupe permanent, lors de sa réunion du 16 décembre 2004, différents sujets relatifs aux accidents de fusion du cœur pouvant donner lieu à des modifications matérielles ou de procédures lors des visites décennales. Les points suivants ont été abordés : la gestion du cœur fondu (corium) dans le puits

FOCUS

RADIER DE LA CENTRALE DE FESSENHEIM

Dans le cadre des modifications à réaliser lors des troisièmes visites décennales, l'IRSN a examiné en 2004 le radier (ou fondation) des réacteurs de la centrale de Fessenheim (Haut-Rhin).

Celui-ci présente, à la verticale du puits de cuve, une épaisseur moindre que celle des radiers des autres réacteurs EDF en exploitation. Il s'ensuit que le temps nécessaire à la percée du radier de Fessenheim, en cas d'interaction entre le corium et le béton, serait plus court, ce qui conduirait à des rejets radioactifs atmosphériques (gaz et aérosols) plus précoces.



Vue aérienne de la centrale nucléaire de production électrique de Fessenheim (Haut-Rhin).

L'IRSN a donc analysé l'intérêt de mettre en place des dispositions complémentaires permettant de retarder la traversée du radier des réacteurs de Fessenheim. À l'aide du module d'interaction corium-béton MEDICIS du logiciel ASTEC V1, l'IRSN a pu apprécier le temps nécessaire à la percée du radier actuel et montrer qu'un apport d'eau sur le corium ne pourrait pas retarder significativement l'instant de percée du radier. À l'inverse, un épaissement du radier par une couche de béton réfractaire permettrait de repousser le délai de percée du radier à une valeur similaire à celle des autres réacteurs de 900 MWe.

L'IRSN a également examiné les conséquences dosimétriques pour les travailleurs qui réaliseraient cette modification.



Spécialistes de l'IRSN pour le calcul du récupérateur de corium de l'EPR.

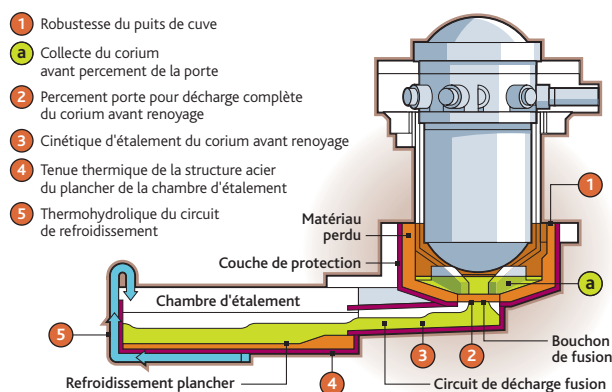


Schéma de principe de la récupération du corium dans le réacteur EPR.

de cuve, les risques associés à l'échauffement direct de l'enceinte, l'instrumentation à mettre en place pour la gestion et le suivi d'un accident grave. Pour l'examen de ces sujets, l'IRSN s'est largement appuyé sur l'état de la recherche et notamment sur des études menées au sujet de l'interaction entre le corium et le béton et autour du risque d'explosion de vapeur. Certaines études génériques ont été réalisées dans le cadre du développement de l'EPS de niveau 2 que l'IRSN réalise pour les réacteurs de 900 MWe. Par ailleurs, l'expertise de l'IRSN en matière d'instrumentation s'est appuyée sur l'expérience acquise dans le cadre du programme PHEBUS. À cet égard, l'IRSN a recommandé qu'EDF réalise un épaississement du radier des réacteurs de la centrale de Fessenheim (cf. Focus p. 104) et implante un dispositif de détection du corium dans le puits de cuve, après traversée de la cuve.

L'analyse a de plus conduit EDF à prévoir une modification des boulons du tampon d'accès des matériels des réacteurs de type CPY, de façon à assurer une étanchéité pour des pics de pression pouvant aller jusqu'à 8 bars. De même, EDF modifiera le dispositif permettant de dépressuriser le circuit primaire par les soupapes SEBIM, y compris lors d'un accident grave avec la perte totale des alimentations électriques (réseau et diesels).

Projet de réacteur EPR

Au cours de l'année 2004, l'IRSN a examiné deux sujets :

- la nouvelle conception de l'enceinte de confinement et son aptitude à conserver son intégrité et son étanchéité après une déflagration globale de

la quantité d'hydrogène pouvant se trouver dans l'enceinte en cas d'un accident de fusion du cœur à basse pression, ou après une déflagration locale rapide représentative ;

- la robustesse du concept de récupérateur de corium proposé par EDF (cf. Focus).

FOCUS

RÉCUPÉRATEUR DE CORIUM DU RÉACTEUR EPR

Le système de récupération des matériaux fondus du cœur (corium) prévu pour le réacteur EPR est une amélioration notable de la sûreté en cas d'accident de fusion de cœur.

Il permettra en effet d'éviter la percée du radier et donc une perte d'étanchéité du confinement. Le corium s'écoulant de la cuve du réacteur après sa rupture sera collecté et reçu dans une chambre d'étalement dédiée où il sera refroidi par un système passif d'injection d'eau. L'examen du système proposé par EDF, réalisé en 2004, a conduit l'IRSN à identifier plusieurs points nécessitant des approfondissements. L'Institut a réalisé des études sur ces points avec ses propres outils de calcul. Celles-ci ont permis de vérifier que le système prévu par EDF est bien de nature à répondre aux objectifs fixés :

- la collecte complète du corium dans le puits de cuve avant le percement de la porte située sous le puits de cuve ;
- l'obtention d'une taille suffisante de la brèche lors du percement de la porte permettant un écoulement et un étalement rapide du corium ;
- l'ablation limitée de la couche de béton sacrificiel ;
- la tenue thermique de la structure en acier de la chambre d'étalement ;
- un fonctionnement satisfaisant du circuit de refroidissement sous cette chambre.

Toutefois, certains points mériteront encore des investigations complémentaires, en particulier le percement de la porte séparant le puits de cuve de la chambre d'étalement et l'analyse d'un nouveau dispositif proposé par le concepteur, l'épaisseur et la nature du béton sacrificiel de la chambre d'étalement ainsi que la fiabilité du dispositif passif de refroidissement du radier de cette chambre.



Usine d'enrichissement Georges Besse d'Eurodif sur le site du Tricastin (Drôme).

Expertise de sûreté des réacteurs du futur au-delà d'EPR

Dans le domaine des réacteurs du futur au-delà d'EPR, l'IRSN a consacré l'année 2004 à une réflexion sur les actions à mener pour se préparer à l'expertise de leur sûreté.

Parmi les différents projets de réacteurs et d'installations associées du cycle du combustible, actuellement développés dans le cadre du Generation IV International Forum (GIF), il convient de citer les projets utilisant :

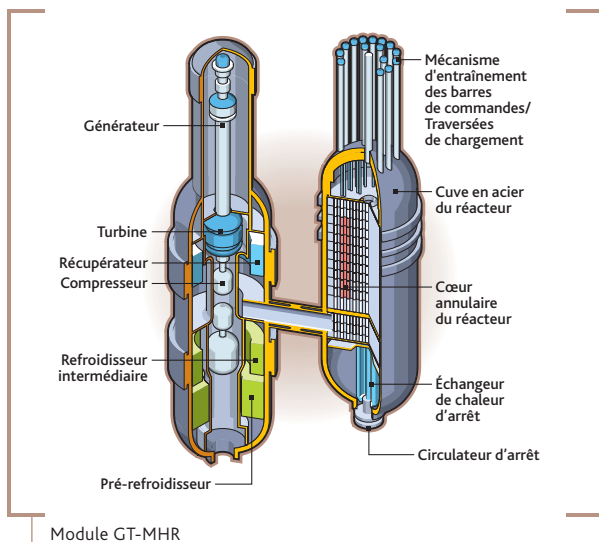
- les réacteurs à haute ou très haute température (HTR/VHTR), refroidis à l'hélium,
- les réacteurs à neutrons rapides refroidis au gaz (GFR) ou au sodium (SFR).

Pour ces réacteurs, les concepteurs visent des améliorations concernant notamment la sûreté, la réduction des déchets et la résistance aux actions de malveillance.

En termes de calendrier, de tels réacteurs ne sauraient succéder aux REP des générations II (existants) et III (EPR) et autres que vers le milieu du XXI^e siècle. Toutefois, pour certains types de réacteurs, la construction de « démonstrateurs » est envisagée par les concepteurs à l'horizon 2010-2015.

En matière d'expertise de sûreté, l'IRSN portera son effort, dans un premier temps, sur les réacteurs à haute ou très haute température, avec notamment des échanges techniques avec Framatome, qui développe un projet VHTR. Par ailleurs, l'Institut suivra l'avancement des réflexions sur les réacteurs à neutrons rapides refroidis au gaz et celles concernant l'évolution de la filière de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium.

En 2004, l'IRSN a pris des contacts au plan international sur les réacteurs du futur, notamment avec la GRS et la NRC. L'IRSN participera de plus au projet intégré du 6^e PCRD « V/HTR-IP », concernant notamment les codes de calculs d'accidents.



Module GT-MHR



Réunion de travail pour la délivrance des avis sur la sûreté des installations.

Sûreté des usines, des transports et du démantèlement

L'IRSN réalise l'expertise technique des dossiers transmis par les exploitants d'installations nucléaires et par les requérants pour les colis de transports de matières radioactives. L'Institut étudie également les risques de dispersion de matières radioactives et de criticité, présents dans la plupart des installations. L'IRSN formule des avis sur les Plans d'urgence internes (PUI) des sites comportant des installations nucléaires.

Installations « amont » du cycle

L'IRSN a expertisé en 2004 le dossier relatif au réexamen de sûreté de l'installation, exploitée par la société COMURHEX sur le site de Pierrelatte (Ardèche). L'IRSN a notamment identifié des insuffisances dans la prise en compte des risques de dispersion de matières radioactives et chimiques, d'incendie et d'agressions d'origine externe.

La définition des options de sûreté de la nouvelle usine d'enrichissement de l'uranium (Georges BESSE II) qu'AREVA prévoit de construire sur le site de Pierrelatte a été examinée par l'IRSN en 2004. Cette usine utilisera le procédé d'enrichissement par centrifugation de l'uranium sous forme d' UF_6 gazeux, procédé développé par URENCO ; elle est destinée à remplacer l'usine EURODIF. Le procédé par centrifugation permet de diminuer de façon importante la quantité d' UF_6 gazeux présente dans l'installation, ce qui réduit les risques de dispersion de matières radioactives et chimiques. L'expertise réalisée a permis de conclure que les options de

sûreté proposées par AREVA apparaissaient convenables à ce stade du projet.

Les États-Unis envisagent l'utilisation, dans des centrales nucléaires américaines, d'assemblages combustibles MOX fabriqués à partir de plutonium d'origine militaire. Quatre assemblages de têtes de série destinés à un REP aux États-Unis ont été fabriqués en France. Cette opération, dénommée EUROFAB, concerne deux installations françaises : l'atelier de technologie du plutonium (ATPu) pour la fabrication des crayons de combustibles, l'usine MELOX à Marcoule (Gard) pour la fabrication des assemblages combustibles. L'IRSN a examiné les dispositions spécifiques prévues par les exploitants de ces installations à l'égard des risques de criticité. En effet, le produit mis en œuvre présente des risques de criticité spécifiques, compte tenu de la forte teneur en plutonium 239 et de la faible teneur en plutonium 240.

L'IRSN a participé avec la DGSNR à la visite d'usines de fabrication de combustibles destinés aux REP implantées en Europe. Les enseignements tirés de ces visites, en termes de comparaison des dispositions mises en œuvre pour maîtriser les risques et réduire en particulier les doses reçues par les opérateurs, ont été présentés lors d'une conférence internationale organisée par l'AIEA à Pékin (Chine) en octobre 2004. Ces enseignements seront utilisés lors de l'expertise du dossier relatif au réexamen de sûreté de l'usine française de fabrication de combustibles de Romans-sur-Isère (Isère).

Installations « aval » du cycle

Concernant les installations « aval » du cycle du



Vue aérienne du site Cogema-La-Hague (Manche).

combustible, une part importante des travaux de l'IRSN a été consacrée à l'examen de l'évolution du domaine de fonctionnement des installations de traitement de combustibles irradiés UP2-800 et UP3-A et de l'installation de traitement des effluents STE3 de COGEMA à la Hague (Manche) et des dispositions proposées par COGEMA à cet égard. Les décrets publiés le 11 janvier 2003 au JO définissent le domaine de fonctionnement de ces installations et toute extension du domaine de fonctionnement en vigueur fait l'objet d'une autorisation spécifique, dite opérationnelle, délivrée par arrêté interministériel. Au cours de l'année 2004, trois dossiers spécifiques d'élargissement du domaine de fonctionnement ont été expertisés par l'IRSN et ont conduit à la publication de trois arrêtés interministériels. Ils concernent :

- les assemblages combustibles dits UOX3 ayant un taux de combustion massique moyen de l'assemblage inférieur à 60 GWj/t et une teneur moyenne de l'uranium en isotopes 235 avant irradiation inférieure à 4,5 % ;
- les assemblages combustibles MOX ayant un taux de combustion au plus égal à 55 GWj/t et une teneur massique en plutonium et en américium au plus égale à 8,65 % avant irradiation ;
- les éléments combustibles MOX non irradiés, initialement destinés au réacteur à neutrons rapides SNR 300 de Kalkar (Allemagne), dont la teneur massique en plutonium est au plus égale à 40 %. L'instruction technique de l'IRSN a particulièrement examiné l'évolution des risques liés aux dégagements thermiques et à la radiolyse, des risques d'exposition externe (en particulier aux neutrons dans le cas des MOX), des risques de criticité ainsi que les modifications des caractéristiques des déchets résultant des opérations de traitement de ces combustibles. L'Institut

a émis un avis favorable sur les dispositions correspondantes de protection des travailleurs et de l'environnement retenues.

Expertises relatives aux PUI

Concernant les laboratoires et usines, les PUI des centres CEA Valrhô, de Superphénix, de l'établissement COGEMA de Pierrelatte et du centre CEA de Fontenay-aux-Roses ont été analysés. L'analyse du PUI de l'établissement COGEMA de Pierrelatte a notamment comporté un examen détaillé des situations accidentelles considérées.

Sûreté des transports de matières radioactives

La mission TranSAS

En 2004, l'AIEA a réuni pendant dix jours une quinzaine d'experts étrangers pour évaluer l'organisation du contrôle de la sûreté des transports de matières radioactives en France dans le cadre d'une mission TranSAS. La DGSNR et l'IRSN, ainsi que les industriels à l'origine des flux de transport internationaux les plus importants (COGEMA et CIS bio international) ont été audités.

La mission a estimé que le système de contrôle français est bien adapté à la taille et à la complexité des transports effectués.

Conférence PATRAM

La 14^e conférence internationale PATRAM, qui s'est tenue à Berlin (Allemagne), a été l'occasion de nombreux échanges sur les cinq sujets présentés par l'IRSN :

- un modèle de calcul des effets de la contamination surfacique des emballages : l'étude de l'impact dosimétrique des contaminations a montré que les limites en vigueur restent pertinentes bien que dégageant des marges importantes pour certains isotopes ;



Transport ferroviaire de résidus vitrifiés.

- les flux de transport de matières radioactives et les doses associées pour les travailleurs et le public : les données collectées ont permis de préciser le nombre des transports d'appareils de contrôle contenant des matières radioactives ;
- le comportement au feu de deux modèles de colis chargés respectivement de combustibles irradiés ou de déchets vitrifiés : la durée de résistance au feu de ces colis est nettement supérieure aux exigences réglementaires ; les résultats obtenus seront utilisés comme outil d'aide à la gestion d'un accident de transport ;
- les distances de sécurité à mettre en place en cas d'accident de transport : elles seront intégrées dans les plans départementaux de secours en cas d'accident de transport de matières radioactives ;
- une méthodologie de détermination de limites d'exemption pour les actinides fissiles.

Étude sur l'harmonisation des pratiques européennes relatives à la certification des modèles de colis

La Commission européenne a financé en 2004 une étude menée par l'IRSN et la BAM (Allemagne) sur l'harmonisation des pratiques européennes en matière de certification des modèles de colis pour le transport de matières radioactives.

Cette étude a comporté trois phases :

- étude des pratiques en vigueur en France et en Allemagne ;
- diffusion à tous les pays membres de l'Union européenne, ou candidats, d'un questionnaire portant sur les principaux éléments de ces pratiques ;
- analyse des réponses recueillies, pour en déduire des recommandations visant à une harmonisation plus poussée.

Il a ainsi été proposé d'élaborer des guides pour la préparation par les exploitants des dossiers de

sûreté et pour la réalisation par les autorités des évaluations de ces dossiers, ainsi que des formats types pour les dossiers de sûreté, les rapports d'expertise et les certificats d'agrément.

Projet EUROFAB

L'IRSN a effectué l'expertise technique des dossiers de sûreté associés aux différentes opérations de transport par route et par mer des deux modèles d'emballage concernés, le FS 47 pour l'oxyde de plutonium fourni par les États-Unis et le FS 65-900 pour les quatre assemblages fabriqués et les crayons supplémentaires.

L'IRSN a aussi mis en ligne des explications sur son évaluation des risques relatifs aux accidents de transport envisageables, en réponse aux communications des associations WISE-Paris et Greenpeace International et des résultats de l'étude réalisée par le cabinet de consultants Large & Associates.

Sûreté du démantèlement des installations nucléaires arrêtées définitivement

Depuis quelques années, les principaux exploitants nucléaires (CEA, EDF, COGEMA) se sont engagés dans d'importants programmes de démantèlement d'installations nucléaires, conduisant au déclassement, d'ici 2025, d'environ quarante installations nucléaires de base.

Au cours de l'année 2004, l'IRSN a en particulier examiné :

- les opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement des réacteurs expérimentaux SILOE et SILOETTE implantés sur le site CEA de Grenoble (Isère) ;
- les opérations de mise à l'arrêt définitif



Instruction technique d'un dossier de sûreté d'une installation en démantèlement.



Usine de fabrication des combustibles
MOX.melox, Bagnols-sur-Cèze (Gard).

et de démantèlement des Ateliers de traitement de l'uranium enrichi (ATUe) implantés sur le site CEA de Cadarache (Bouches-du-Rhône) ;

■ les opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'usine SICN de Veurey-Voroize (Isère). L'IRSN a présenté, les 24 et 31 mars 2004, devant le Groupe permanent pour les installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires, à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs (GPU), son avis sur la stratégie de démantèlement des réacteurs de « première génération » présentée par EDF.

Expertises relatives aux risques de dispersion de matières radioactives

Les risques de dissémination de matières radioactives ou toxiques en situation normale, incidentelle ou accidentelle font l'objet d'une étude attentive de la part de l'IRSN.

Ainsi, au cours de l'année 2004, des évaluations de sûreté spécifiques à ces risques ont été effectuées pour des installations très diverses, telles que des usines et des laboratoires (CIS bio international à Saclay, CEA Valduc - Côte-d'Or -, FBFC à Romans - Isère -, MELOX à Marcoule, COGEMA à la Hague), des installations en démantèlement (usine UP1 à Marcoule, réacteur Superphénix), des réacteurs de recherche (OSIRIS à Saclay, RHF à Grenoble), le réacteur RES à Cadarache ainsi que certains bâtiments auxiliaires des réacteurs d'EDF.

Des sujets génériques concernant l'ensemble des installations nucléaires ont également été étudiés, tels que la quantification des rejets pouvant résulter d'un séisme, compte tenu de l'état de fissuration des bâtiments ainsi que des écarts de pression induits par le vent, des fuites de circuits de gaz et de l'échauffement de l'air à l'intérieur des bâtiments.

Enfin, l'année 2004 a été marquée par la participation de l'IRSN à la rédaction de normes ISO dans le domaine du confinement, notamment d'une norme relative à la conception et à l'exploitation des systèmes de ventilation des installations nucléaires hors réacteurs, ainsi que par le début d'une collaboration avec son homologue ukrainien (SSTC) dans le domaine des prescriptions de sûreté à associer aux équipements de filtration des installations nucléaires.

Expertises relatives au risque de criticité

Le risque de criticité fait l'objet d'analyses techniques spécifiques.

En 2004, l'IRSN a effectué 104 expertises qui l'ont conduit à réaliser des contre-calculs et des études spécifiques pour appréhender le bien-fondé des justifications présentées par les exploitants nucléaires dans leurs dossiers de demande d'autorisation et apprécier les marges de sécurité associées aux calculs, en relation avec le niveau de qualification des outils de calcul utilisés par les demandeurs. Une étude visant à préciser le risque de criticité dans les stockages géologiques de déchets radioactifs dans des scénarios d'évolution à très long terme a été effectuée.

Par ailleurs, l'IRSN a analysé les incidents ayant concerné le risque de criticité et apporté un support pour les visites de surveillance et pour les exercices de crise pour lesquels des questions de criticité pouvaient apparaître.

Enfin, l'IRSN a participé aux travaux de l'AIEA dans le cadre de l'évolution du règlement international de la sûreté des transports de matières radioactives et aux travaux de l'OCDE consacrés à l'amélioration des méthodes de calcul de criticité.



Pour forger ses avis relatifs au stockage des déchets de haute activité, l'IRSN mène des recherches sur les propriétés de l'argile comme roche hôte potentielle à Tournemire (Aveyron).

Examen des dossiers de sûreté concernant **les déchets et les résidus miniers** et participation à la rédaction de textes réglementaires

Les interventions de l'IRSN concernent la sûreté des différentes étapes de la gestion des déchets radioactifs : traitement, conditionnement, transport, entreposage, stockage, pour les différentes catégories de déchets (déchets de tous niveaux d'activité, résidus miniers, terres polluées, etc.).

En 2004, compte tenu de l'échéance fixée par la loi de 1991 sur les recherches en matière de gestion des déchets de haute activité et à vie longue (HAVL), l'effort de l'Institut a principalement porté sur l'examen de dossiers relatifs à ces déchets.

Stockage en formation géologique profonde

Trois dossiers concernant la faisabilité d'un stockage en formation géologique profonde, établis par l'ANDRA, ont été examinés par l'IRSN et les conclusions de ces examens ont été présentées au Groupe permanent pour les installations de stockage à long terme de déchets radioactifs. Ces dossiers concernaient :

- les perturbations mécaniques susceptibles de se produire dans un stockage qui serait implanté dans la formation argileuse étudiée au moyen du laboratoire souterrain de Bure (Meuse/Haute-Marne) ;
- les perturbations chimiques dans ce même stockage ;
- l'état des réflexions sur l'intérêt des formations granitiques françaises en tant que milieu d'accueil d'un

stockage de déchets HAVL (« dossier 2002 granite »). L'analyse des deux premiers dossiers a permis d'achever un premier cycle d'examen des points clés de la sûreté d'un éventuel stockage concernant :

- les qualités du site géologique étudié ;
- les éléments de conception d'un stockage ;
- les questions de sûreté posées par l'exploitation et la réversibilité d'un stockage.

Ainsi, les évaluations des perturbations mécaniques et chimiques, couplées entre elles, mais également celles des perturbations thermiques et hydrauliques ont conduit à porter une première appréciation sur l'évolution des performances des barrières de confinement d'un stockage et sur la pertinence des dispositions de conception envisagées par l'ANDRA pour prévenir ces perturbations et réduire leurs effets.

Pour forger son expertise, l'IRSN dispose de moyens de recherche propres, tels que la plate-forme expérimentale de Tournemire (Aveyron), et participe à des projets internationaux expérimentaux (Mont-Terri) et de modélisation (Decovalex, projets européens SPA, BENIPA, NFPRO, etc.). C'est dans ce contexte que l'IRSN a pu,



Mesure de l'orientation des fissures dans une galerie de tunnel de Tournemire (Aveyron).



Conditionnement sous vide de carottes d'argile prélevées à Tournemire en vue de leur analyse chimique en laboratoire.

notamment, élaborer son avis concernant les transferts en milieu semi-perméable, le rôle potentiel des colloïdes dans les transferts potentiels de radionucléides dans le stockage et le milieu géologique, et l'influence des liants hydrauliques sur les propriétés de confinement des argilites. L'évaluation du « dossier 2002 granite » a, pour sa

part, permis de faire un bilan des options possibles pour un stockage en milieu granitique, et d'examiner la capacité des granites français à pouvoir accueillir un tel stockage. L'analyse effectuée à partir des données bibliographiques contenues dans le dossier de l'ANDRA, provenant de sites granitiques français et étrangers, a conduit l'IRSN à estimer que ces

FOCUS

PROGRAMME MIMAUSA

Les activités minières d'extraction d'uranium ont pu conduire à des modifications de l'environnement naturel et à un marquage radiologique de l'air, de l'eau et du sol.

Ce marquage peut être significatif sans forcément avoir des conséquences dosimétriques importantes.

Grâce aux travaux actuels et passés, l'IRSN dispose d'une connaissance précise de plusieurs de ces sites miniers ; pour d'autres sites, les informations sont partielles. C'est pourquoi la DPPR du ministère de l'Écologie et du Développement durable

(MEDD) a demandé en 2003 à l'IRSN de mettre en place un programme visant à établir un état radiologique de l'environnement des sites miniers d'uranium. Baptisé MIMAUSA, ce programme est mené en collaboration étroite avec la COGEMA. Son comité de pilotage associe le MEDD, l'IRSN, la COGEMA et la DARPMI du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

Dans le cadre du volet « bilan des connaissances » du programme, l'IRSN a publié en juin 2004 un inventaire national des mines d'uranium, consultable à l'adresse suivante : www.irsn.org. Il recense les sites sur lesquels ont été pratiquées des activités d'exploration, d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine. À chaque site est associée une fiche synthétique de présentation.

En parallèle, l'IRSN a débuté le recueil d'informations détaillées en s'intéressant à deux sites pilotes : Gartempe (Haute-Vienne) et Ambert (Puy-de-Dôme). Pour l'organisation et la consultation ultérieure des informations, une base de données contenant des informations cartographiques est en cours d'élaboration.



Les zones minières en France.

La notion de « zone minière » a été définie dans le cadre de l'inventaire MIMAUSA afin de regrouper géographiquement un ensemble de sites. Le nom attribué à chaque « zone minière » peut traduire, soit l'appartenance à une limite administrative définie, soit correspondre au nom d'une ville importante ou au nom d'un titre minier.



Réaménagement du site minier de l'Ecarpière (Loire-Atlantique).

formations granitiques en profondeur ne présentaient pas, de façon générique, de caractéristiques géologiques réhibitoires à l'implantation d'un éventuel stockage.

L'IRSN a également examiné les programmes de travaux et de recherches prévus par l'ANDRA dans le laboratoire souterrain de Bure, en support à la demande d'autorisation de procéder au creusement de la niche d'expérimentation et des galeries de ce laboratoire.

Colis de déchets

Concernant les colis de déchets, l'IRSN a examiné trois dossiers :

- une première version des spécifications des colis qui résulteraient du bitumage, dans l'atelier STE3 de l'établissement COGEMA de la Hague (Manche), des boues issues de l'ancien atelier STE2 ;
- la demande d'autorisation de poursuite de l'exploitation de l'alvéole 124 d'entreposage de colis (E-I-P) de l'établissement COGEMA de Marcoule (Gard), au-delà du quatrième niveau d'entreposage ;
- un dossier de l'ANDRA présentant l'inventaire des colis HAVL et MAVL (Moyenne Activité Vie Longue) servant au dimensionnement d'un éventuel stockage dans la couche d'argile étudiée à Bure.

Installations de stockage

Concernant les installations de stockage en surface de déchets de faible et moyenne activité, l'IRSN a examiné des dossiers particuliers concernant le Centre de l'Aube et le Centre de la Manche (plan réglementaire de surveillance, plan d'urgence interne, stockage de résines, acceptation de sources scellées dans un stockage de surface). Sur les sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de la COGEMA, l'Institut a réalisé, à la demande des DRIRE, des tierces

expertises concernant :

- l'impact radiologique pour 2002 de l'ancien site minier de l'Ecarpière (Gétigné, Loire-Atlantique) ;
- la surveillance de l'environnement effectuée par COGEMA autour des sites de Gueugnon (stockage de résidus de traitement de minerai) et de Bauzot près d'Issy-l'Évêque (stockage de résidus faiblement contaminés par des radionucléides naturels) ;
- la demande d'autorisation de stockage de stériles miniers et de produits de démolition de l'usine SIMO dans la mine à ciel ouvert du site des Bois-Noirs-Limouzat.

Par ailleurs, à la demande de la DDASS de la Creuse, une étude a été conduite, concernant un projet de mise en place d'une baignade dans le plan d'eau correspondant à l'ancienne mine à ciel ouvert de Grands-Champs (commune de Gouzon, Creuse). L'ensemble des résultats a montré que l'utilisation du site comme lieu de baignade n'induirait pas une augmentation importante des doses reçues par rapport au niveau moyen d'exposition des habitants du Limousin.

Textes réglementaires sur la sûreté des déchets

L'IRSN participe à des travaux de révision ou d'élaboration de textes de doctrine concernant la sûreté des déchets. Il a ainsi contribué en 2004 à des travaux visant à faire évoluer les règles fondamentales de sûreté III.2.f et III.2.e, traitant respectivement de la sûreté du stockage à long terme de déchets radioactifs en formation géologique profonde (III.2.f) et des caractéristiques favorables des colis de déchets en vue de leur acceptation dans un stockage de surface (III.2.e). L'Institut contribue également à l'élaboration d'un guide de référence concernant les colis HAVL et MAVL (colis dits « L542 »), dont les filières d'élimination sont aujourd'hui à l'étude.



L'équipe « Facteur humain » à la sûreté des réacteurs de l'IRSN.

L'IRSN a rédigé en 2004 un guide traitant de l'élimination, dans un Centre de stockage de déchets ultimes, de déchets présentant une radioactivité d'origine naturelle, mais dont le procédé industriel à l'origine de leur production a renforcé l'activité. L'objectif de ce guide est de proposer aux producteurs de ce type de déchets, et particulièrement aux personnes en charge de la conception des centres de stockage, une méthode détaillant les diverses étapes à mettre en œuvre pour les évaluations d'impact radiologique. Ce travail, réalisé à la demande du MEDD dans le cadre d'un groupe de travail composé de représentants de l'administration ainsi que de producteurs et éliminateurs de déchets, a été présenté au congrès de la SFRP de Marcy-l'Étoile (Rhône) en septembre 2004.

Enfin, l'IRSN a réalisé en 2004 des travaux de soutien

aux instances impliquées dans la gestion des déchets radioactifs (autorités de sûreté françaises et étrangères, AIEA, etc.) avec notamment :

- la participation aux visites de surveillance d'installations nucléaires de base, en support technique à la DGSNR et au DSND ;
- la participation aux travaux du comité de l'AIEA chargé de l'examen de guides de sûreté en matière de gestion des déchets radioactifs (comité WASSC) ;
- la participation, en tant que consultant, à l'élaboration de certains de ces guides (concernant notamment le stockage géologique) ;
- l'élaboration, dans un cadre franco-belge et en liaison avec l'ANDRA, d'une position commune sur l'approche de sûreté des stockages géologiques ;
- la formation, à la demande de l'AIEA, des autorités de sûreté des pays d'Europe de l'Est en matière de stockage de surface des déchets radioactifs.

Fiabilité humaine et fiabilité organisationnelle

En 2004, les expertises spécialement menées par l'IRSN dans le domaine des facteurs humains et organisationnels ont concerné trois sujets.

Conduite et supervision

L'IRSN a examiné les principes de conception de la conduite informatisée prévue pour le réacteur EPR. Ces principes s'appuient largement sur l'expérience acquise sur les centrales N4. Ils ont fait l'objet d'une première validation par EDF lors d'essais réalisés sur maquette avec des opérateurs. Compte tenu de la volonté d'EDF d'accentuer la respon-

sabilisation de l'équipe de conduite, l'IRSN a examiné plus particulièrement l'assistance apportée par les interfaces de supervision aux opérateurs. Dans le cadre de la réunion du GP consacrée à l'EPR, l'IRSN a souligné qu'un point majeur est de permettre à l'équipe de conduite de garder la maîtrise de la conduite et d'avoir une vue d'ensemble de l'évolution du procédé, tout en lui assurant un guidage suffisant pour éviter des actions inappropriées.

Organisation et management

Les centrales nucléaires font régulièrement l'objet de modifications techniques ayant un



Rapports présentés au Groupe permanent réacteur.

impact significatif sur les modes opératoires, l'organisation du travail et les compétences demandées aux agents. L'IRSN a examiné la méthode et l'organisation mises en œuvre par EDF pour tenir compte de cet impact lors de la conception de ces modifications (*cf. Focus*).

Par ailleurs, à l'occasion des mises à jour des rapports de sûreté de différentes installations nucléaires, l'IRSN a examiné la manière dont les exploitants ont traité les risques associés aux actions humaines : mise en exploitation de l'extension du laboratoire d'étude des combustibles irradiés du CEA (Saclay) et de la partie « piscine » du réacteur d'essais à Cadarache, mise en service de la centrale de Civaux (Vienne), réévaluation de la sûreté du réacteur CABRI, démantèlement de Superphénix. Ces examens ont concerné les dispositions organisationnelles retenues par les exploitants pour prévenir et récupérer les erreurs humaines susceptibles de mettre en cause la maîtrise de la sûreté des installations.

Retour d'expérience

Deux événements significatifs pour la sûreté survenus dans des centrales nucléaires ont fait l'objet d'une analyse approfondie par l'IRSN du point de vue des facteurs humains et organisationnels. Il a ainsi été souligné qu'une équipe peut éprouver des difficultés à appliquer rigoureusement une procédure de conduite, lorsque sa perception de l'évolution des paramètres l'amène à penser que les actions prescrites par la procédure sont inefficaces.

FOCUS

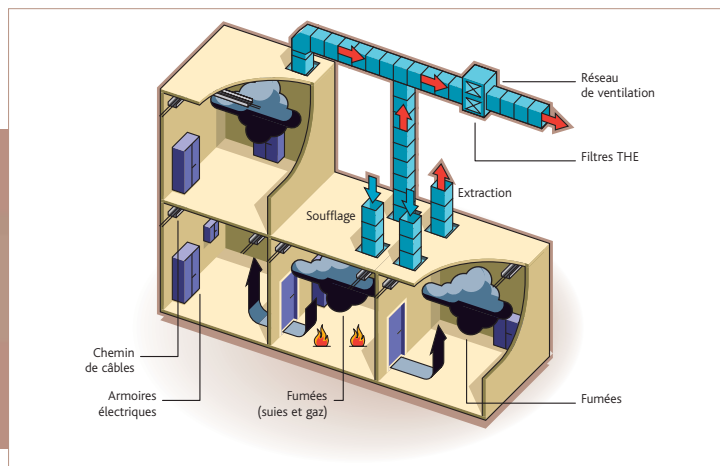
INTÉGRATION DES FACTEURS HUMAINS DANS LA CONCEPTION DES MODIFICATIONS DES CENTRALES EDF

L'analyse des actions menées au début des années 2000 a fait apparaître que des modifications effectuées dans les centrales se traduisaient par des difficultés pour certains agents (opérateurs, intervenants en local), voire par des incidents.

Dans le courant de l'année 2003, l'IRSN a réalisé une étude rétrospective du déroulement de neuf projets de modification. Des entretiens ont été menés avec les acteurs des projets et avec les exploitants concernés par ces modifications. Les principaux documents produits au cours des projets ont été analysés. L'étude a permis d'identifier des insuffisances en matière d'intégration des facteurs humains dans la conception des modifications.

À la fin de l'année 2003, EDF a commencé à diffuser une démarche d'analyse des impacts socio-organisationnels et humains des modifications (démarche SOH). En 2004, l'IRSN a évalué cette démarche en la confrontant d'une part aux résultats de l'étude des projets, d'autre part aux « bonnes pratiques » en matière d'intégration des facteurs humains dans la conduite des projets.

L'évaluation a mis en évidence que cette démarche, conçue pour être menée en amont des projets de modification, devait être complétée afin d'intégrer la réflexion sur les facteurs humains à chaque étape des projets : analyse des besoins, analyse d'impact, spécification et réalisation de la solution, essais de validation, mise en service sur site et suivi en exploitation. À cet égard, l'IRSN a souligné la nécessité de renforcer la formation des concepteurs dans le domaine des facteurs humains et d'améliorer l'aide apportée par les guides accompagnant la démarche.



Études de propagation des feux.

Protection des installations contre l'incendie

L'expertise de la protection d'une installation contre l'incendie concerne les mesures de prévention, de détection et d'intervention proposées par l'exploitant pour éviter le départ d'un feu, détecter et maîtriser tout départ de feu éventuel, cantonner l'incendie dans un volume prédéfini et éteindre cet incendie.

Les incendies et les explosions, qu'ils soient d'origine interne à l'installation ou d'origine externe (feu de forêt, foudre, environnement industriel, voies

de communication), sont des initiateurs possibles d'accidents. Des moyens de prévention et de limitation des conséquences sont mis en place par les exploitants nucléaires pour éviter qu'un feu ou une explosion ne conduise de manière directe ou indirecte à des conséquences importantes pour les travailleurs, les personnes du public et l'environnement.

Travaux d'expertise

L'IRSN évalue la validité des moyens retenus et justifiés par l'exploitant dans les dossiers de sûreté des installations. À cette fin, l'IRSN peut s'appuyer

FOCUS

EPS INCENDIE

Afin d'apprécier les dispositions retenues par EDF pour faire face aux risques liés à un incendie et déterminer des voies d'amélioration possibles de la sûreté, une étude probabiliste de sûreté (EPS) spécifique a été réalisée par l'IRSN pour les réacteurs de 900 MWe.

L'étude comporte une investigation systématique des scénarios accidentels auxquels un incendie pourrait conduire avec la détermination de leurs fréquences.

L'année 2004 a vu l'achèvement de la version de l'EPS incendie fondée sur la conduite événementielle des situations accidentelles. L'IRSN a réalisé en complément une étude de sensibilité, pour apprécier l'influence de la mise en œuvre du Plan d'actions incendie, engagé par EDF pour améliorer la protection contre l'incendie des réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. Les locaux critiques et les séquences correspondant à une part importante du risque de fusion du cœur en cas d'incendie ont ainsi été identifiés.

L'étude a nécessité des calculs de scénarios d'incendie avec le logiciel couplé FLAMME_S/SIMEVENT. Lors d'une prochaine mise à jour de l'EPS, les enseignements de programmes expérimentaux sur les feux (DIVA 0 et CARMELA) réalisés dans les installations de l'IRSN seront intégrés ; ces travaux portent notamment sur les feux d'armoires électriques et la propagation du feu d'un local aux locaux adjacents.

Les enseignements tirés de l'EPS incendie ont également été utilisés dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des centrales de 900 MWe.



Personnel de l'IRSN intervenant en tenue ventilée dans le cadre des études sur les feux.

sur des résultats, notamment de recherches réalisées par l'Institut, sur des résultats d'études menées à l'aide de codes de calcul pour mieux apprécier l'évolution des phénomènes en cause, sur des études probabilistes de sûreté spécifiques, sur les pratiques internationales, ainsi que sur le retour d'expérience et sur les enseignements tirés des incidents survenus dans les installations nucléaires et non nucléaires.

Compte tenu des spécificités des installations nucléaires, une attention particulière est portée au maintien de la disponibilité des fonctions de sûreté en cas d'incendie et au maintien du confinement des matières radioactives. Tous les effets d'un incendie (transferts de gaz chauds, suies, pression, etc.) et leurs conséquences sur les équipements importants pour la sûreté sont considérés. L'influence de la ventilation sur le développement d'un feu et sur ses conséquences est également prise en compte pour examiner notamment les stratégies de pilotage de la ventilation en cas d'incendie.

Parmi les sujets importants examinés par l'IRSN en 2004, on peut citer tout particulièrement les évaluations des dispositions de protection contre l'incendie menées dans le cadre de la définition des lots de modifications à réaliser lors des troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe, en tenant compte des résultats de l'étude probabiliste de sûreté (EPS) incendie réalisée par l'IRSN (cf. *Focus* p.116). À cette occasion, l'IRSN a également examiné les principes de prévention et de protection de l'exploitant pour maîtriser les risques liés à la présence d'hydrogène dans des bâtiments de l'îlot nucléaire. D'autres expertises des risques d'explosion ont porté sur la mise en œuvre industrielle d'une méthode de déshydro-

génation chimique de l'eau du circuit primaire des réacteurs des centrales N4, sur les opérations de destruction du sodium décrites dans le rapport préliminaire de sûreté de démantèlement du réacteur Superphénix, et sur les risques liés à l'environnement externe de plusieurs installations nucléaires. Enfin, une expertise des risques liés à l'incendie a été réalisée en appui de l'évaluation de sûreté du réacteur Khmelnitskyi 2 par l'autorité de sûreté ukrainienne.

L'exploitation des premiers résultats des expériences de propagation de la chaleur et de la fumée et des études du comportement au feu d'équipements de sectorisation et de confinement menées par l'IRSN dans les installations DIVA et STARMANIA a permis de mieux appréhender les effets de pression liés à un incendie et de réduire les incertitudes sur l'évaluation des rejets de matières radioactives dans l'environnement lors d'un incendie. Pour un certain nombre de matières qui pourraient être impliquées dans un feu, les coefficients de mise en suspension à retenir ainsi que les coefficients de redéposition et de rétention des aérosols dans l'installation ont été précisés.



Feu de nappe TPH dans un local confiné et ventilé.

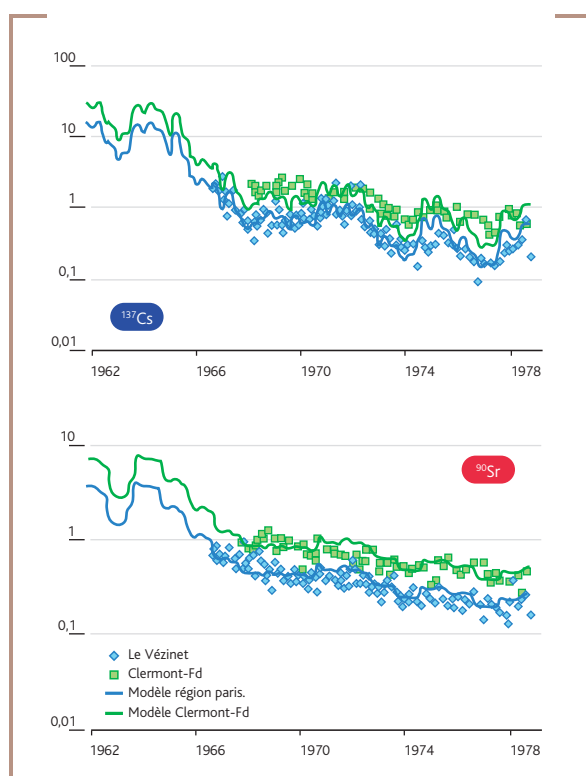


Études d'impact en matière de radioécologie

En 2004, l'IRSN a réalisé deux études d'impact commanditées par les pouvoirs publics dans le domaine de la radioécologie : l'une a concerné les effets des crues du Rhône de fin 2003, l'autre les conséquences en France des essais aériens d'armes nucléaires.

Étude d'impact des crues du Rhône de décembre 2003

En décembre 2003, la plus forte crue du Rhône jamais enregistrée a conduit à des inondations par débordement et rupture de digues dans la basse vallée du fleuve. Lors des crues, le Rhône charrie des masses importantes de matières en suspension (sédiments et particules arrachées aux sols du bassin versant) qui peuvent contenir l'essentiel des flux annuels de certains radionucléides. Aussi, la CLI du Gard et la DRIRE de la Région PACA, relayant l'inquiétude de la population des zones concernées, ont demandé à l'Institut de réaliser une expertise spécifique, à laquelle s'est ajoutée une demande de la DGSNR d'évaluer les conséquences radiologiques des inondations. Les résultats de l'étude ont fait l'objet d'une présentation à la CLI en juin 2004 et d'un rapport publié en octobre. Ils montrent que les niveaux de radioactivité mesurés dans les sols des zones inondées et dans des denrées produites localement ne sont pas significativement différents de ceux mesurés dans les zones avoisinantes. Il en est de même pour les principaux polluants chimiques recherchés dans quelques échantillons.



Impact sur la France des essais aériens d'armes nucléaires

À la suite d'une polémique autour d'activités significatives de césium 137 mesurées en 2002 dans la Montagne Noire (Aude), la DPPR du ministère chargé de l'Environnement a demandé en 2003 à l'IRSN de réaliser une étude sur les retombées en France de tous les essais aériens d'armes. Il s'agissait de reconstituer l'évolution au cours du temps de



Lors des épisodes de crues, l'Institut multiplie les prélèvements de sédiments du fleuve, qui peuvent contenir l'essentiel des flux annuels de radionucléides.

l'activité des quatorze principaux radionucléides présents dans l'air, les dépôts et la chaîne alimentaire, puis d'évaluer les doses reçues par la population. Cette étude s'est appuyée sur près de 40 000 résultats de mesures effectuées en France métropolitaine entre 1961 et 1978. En dépit du nombre élevé de données disponibles, une modélisation était nécessaire pour combler les lacunes dans les séries de mesures. Les données sur les fruits et légumes, le blé, le lait et la viande ont permis de caler les modèles de transfert. Dans l'air et les dépôts, les activités les plus importantes ont été dues aux radionucléides à vie courte. Néanmoins, la contamination de la chaîne alimentaire par ces radionucléides est demeurée limitée en raison de leurs courtes périodes et de leurs faibles mobilités. Le césium 137 et le strontium

90 ont été mesurés dans quasiment tous les compar-
timents de la chaîne alimentaire durant cette période. La contamination des denrées par l'iode 131 s'est effectuée par bouffées après chaque essai. Globalement, pour l'ensemble des radionucléides, les activités mesurées n'ont guère excédé 1 à 10 Bq/kg⁻¹ frais sauf dans les légumes feuilles et l'herbe où des valeurs ont pu atteindre 1 000 Bq/kg⁻¹ frais au début des années soixante.

À chacune des étapes du calcul, l'IRSN a étudié la variabilité régionale pour moduler l'évaluation très générique de l'impact dosimétrique des essais proposée par l'UNSCEAR.

Ces résultats ont fait l'objet en 2004 de deux rapports de l'Institut, d'une présentation dans un congrès et d'une publication dans une revue. Un rapport concernant les aspects dosimétriques paraîtra à l'été 2005.

Risques associés aux séismes et aux inondations

Aléa sismique

L'Institut a examiné en 2004 divers dossiers :

- dossier d'options de sûreté de l'installation Ionisos de Sablé (Maine-et-Loire) ;
- entreposage de longue durée des déchets de moyenne et de haute activité du CEA ;
- examen du rapport préliminaire de sûreté de l'installation Georges-Besse II ;
- détecteurs sismiques du réacteur à haut flux - Grenoble (Isère) ;
- réexamens de sûreté associées aux visites décennales VD3 900 et VD2 1300.

Des expertises ont aussi été réalisées sur des installations étrangères : une expertise concernant le site de Tchernobyl a été effectuée par les équipes

de l'Institut, via la filiale de l'IRSN et de la GRS, RiskAudit ; une expertise a également été menée sur l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique pour le site de Krsko (Slovénie) dans le cadre d'un projet européen PHARE.

Aléa inondation

À la suite de l'inondation du site du Blayais (Gironde) fin 1999, EDF a engagé un réexamen des dispositions de protection de l'ensemble de ses installations, ainsi que des méthodes mises en œuvre pour caractériser l'aléa inondation. Historiquement, l'aléa inondation était défini dans la RFS I.2.e par la Cote Majorée de Sécurité (CMS) correspondant à un niveau d'eau extrême, tant pour les sites fluviaux



Enregistrement des échantillons en provenance des installations nucléaires pour l'analyse des rejets radioactifs.

que pour les sites en bord de mer. Après l'inondation survenue au Blayais, il est apparu nécessaire de tenir compte d'aléas supplémentaires associés, par exemple, aux pluies, à la houle et à la nappe phréatique. Pour chacun de ses sites, EDF a constitué un dossier visant à justifier les dispositions de protection qu'il a prises contre les risques d'inondation externe. En complément des travaux relatifs à la protection

des réacteurs, l'IRSN a examiné en 2004 les éléments retenus pour le dimensionnement des digues de protection des sites de Belleville (Cher) et du Bugey (Ain). Pour le site de Belleville, l'activité a porté plus particulièrement sur l'effet des remontées de la nappe et du phénomène de « clapot » lors de crues extrêmes. Le site du Bugey s'est orienté sur la percolation sous les ouvrages de protection.

Surveillance de l'environnement

L'appui technique aux autorités en matière de surveillance de l'environnement recouvre plusieurs actions : analyses radiologiques, métrologie, intercomparaisons et accompagnement d'inspections.

Surveillance des rejets d'effluents des installations nucléaires

L'IRSN procède à une surveillance des rejets

radioactifs des installations nucléaires. Cette mission se traduit par une expertise en continu sur la base d'analyses radiologiques de prélèvements d'effluents gazeux et liquides aux principaux émissaires. L'objectif est à la fois de vérifier les valeurs de rejets déclarées par les exploitants et d'améliorer la connaissance de la nature et de l'activité des radionucléides rejetés, ainsi que leurs évolutions dans le temps, afin de définir des plans de surveillance environnementale adaptés.

FOCUS

MISE EN PLACE DU RÉSEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

Un arrêté du 17 octobre 2003 confie à l'IRSN la gestion technique du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement.

Ce réseau rassemblera les résultats de mesures que les établissements publics, les services de l'État, les exploitants nucléaires, les collectivités territoriales et les associations effectuent depuis des années. L'IRSN assure en particulier le secrétariat du comité de pilotage prévu par cet arrêté et effectue la centralisation, l'exploitation et l'archivage des résultats d'analyses. Il doit assurer en outre la diffusion des données au public via un site Internet. Ce réseau pourra contribuer à l'estimation des doses auxquelles la population est soumise du fait de l'ensemble des activités nucléaires. Pour être membre du réseau, un laboratoire doit pouvoir garantir la qualité de ses mesures, par l'obtention d'un agrément délivré par les ministres chargés de l'Environnement et de la Santé, sur proposition d'une commission d'agrément. Dans ce cadre, l'IRSN a organisé en 2004 quatre exercices d'intercomparaison. L'Institut a également animé plusieurs groupes de travail du comité de pilotage et de la commission d'agrément pour recenser l'ensemble des mesures produites et élaborer le cahier des charges de la future base de données. Un portail Internet transitoire a été développé en fin d'année et sera accessible au public en 2005.



Analyse des éléments alcalins par spectrométrie d'absorption atomique.

En cas d'incident ou d'accident, ces données sont complétées par celles obtenues à partir des prélèvements des stations implantées dans l'environnement proche du site concerné afin de quantifier l'ampleur des rejets et leur impact sur l'environnement. En 2004, les moyens de surveillance ont permis de compléter les informations de l'exploitant sur les événements au cours desquels des rejets gazeux intempestifs de faible ampleur ont été constatés.

Des réflexions ont été menées en 2004 avec la DGSNR en vue d'optimiser la surveillance en recherchant une plus grande pertinence des radionucléides recherchés et une diminution du nombre d'échantillons analysés (5 300 en 2004), ce qui réduira les déchets provenant du laboratoire concerné.

Métrologie en appui des missions de l'Institut

La radioactivité contenue dans les prélèvements diminuant au fil du temps, de par la diminution des rejets, l'IRSN développe des techniques de plus en plus efficaces de traitement et de mesure des radionucléides présents dans les échantillons de l'environnement. Les compétences développées et les moyens mis en œuvre permettent la réalisation, selon des protocoles et des techniques ayant un niveau de référence reconnu par le COFRAC, de traitements et d'analyses de

la radioactivité à bas niveau (quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg) et à très bas niveau (quelques Bq/kg) dans des échantillons prélevés notamment dans le cadre d'activités de surveillance de la radioactivité. Ainsi, chaque année, de l'ordre de 30 000 échantillons conduisant à près de 90 000 mesures sont traités dans les laboratoires de l'IRSN sur le site du Vésinet (Yvelines). Les moyens de mesure correspondants sont mobilisables, si nécessaire, en situation accidentelle ou post-accidentelle.

Réalisation d'intercomparaisons

L'Institut assure l'organisation et la préparation d'échantillons pour les campagnes annuelles d'intercomparaisons menées dans le cadre du Code de la santé publique à la demande de la DGSNR pour l'agrément des laboratoires de mesure. Quatre intercomparaisons ont ainsi été réalisées en 2004, portant sur l'analyse de faibles activités de radionucléides, d'origine naturelle ou artificielle, dans des matrices environnementales diverses (eaux, algues, végétaux).

Accompagnement d'inspections

L'IRSN participe en tant qu'expert technique à l'accompagnement des inspecteurs des installations nucléaires de base lors de visites inopinées de sites, comme en janvier 2004 à la centrale de Nogent-sur-Seine (Aube).

Appui technique dans le domaine du radon

En 2004, cet appui a porté sur plusieurs sujets :
■ afin d'identifier les zones concernées par le radon dans certains départements, une trentaine d'études de cartographie prédictive ont été réalisées à la demande des DDASS ou des DRASS, par divers

organismes en utilisant des méthodes différentes. La DGSNR a demandé à l'IRSN de dresser un bilan de ces études et de proposer des critères pour classer les zones géographiques selon l'importance de leur « potentiel radon » ;



Intervention pour la reprise d'un irradiateur de forte puissance dans une clinique de Toulouse.

■ en tant qu'organisme de référence dans le domaine du radon, l'IRSN participe aux travaux de la Commission nationale d'agrément des organismes habilités à procéder aux mesures d'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public ;

■ l'IRSN a réalisé des fiches techniques présentant des exemples de réduction des concentrations de radon dans des bâtiments publics, privés ou industriels. Ces fiches ont été diffusées aux DDASS et DRASS.

Intervention et assistance en radioprotection

En 2004, les pouvoirs publics, au niveau national ou local, ont sollicité une douzaine de fois l'IRSN pour diverses interventions ayant conduit à la découverte de sources de rayonnements ionisants dans des lieux inappropriés.

À titre d'exemple, on peut citer le cas d'un particulier à Huningue (Alsace) chez qui des produits radioactifs ont été découverts.

Dans un premier temps, ces interventions consistent à caractériser qualitativement et quantitativement les radionucléides présents et l'étendue des zones éventuellement contaminées. Dans un second

temps, l'Institut procède à la mise en sécurité des lieux par un conditionnement et un stockage adéquats des matériaux contaminés ou des sources, en vue de leur élimination ultérieure dans des filières appropriées.

D'autres types d'interventions sont menés par l'IRSN : l'assistance en radioprotection sur des chantiers de sites contaminés par le tritium à Ganagobie (Alpes-de-Haute-Provence), l'appui technique lors d'inspections réalisées par les pouvoirs publics (convoi de combustibles irradiés en gare de Bordeaux) ou encore l'intervention sur des sites contaminés par le radon.

Radioprotection des travailleurs

L'IRSN a contribué à la rédaction des décrets et arrêtés rendus nécessaires par l'évolution de la réglementation française concernant la radioprotection des travailleurs.

L'Institut participe par ailleurs au suivi de l'exposition des travailleurs. Enfin, il intervient lors des demandes d'agrément des laboratoires de dosimétrie externe et pour l'organisation d'intercomparaisons.

Impact de l'évolution de la réglementation sur les activités de l'IRSN

L'évolution de la réglementation française en radioprotection des travailleurs s'est traduite en 2003 par la publication du décret numéro 2003-296, complété en 2004 par le décret numéro 2004-1489 autorisant l'utilisation par l'IRSN du répertoire national d'identification des personnes physiques. L'IRSN a été impliqué dans la rédaction de ces décrets et de leurs arrêtés d'application qui confient



Dosimètre passif.

à l'IRSN la tenue de l'inventaire national des sources de rayonnements ionisants (SIGIS) et la gestion du système de surveillance des expositions des travailleurs (SISERI). Le décret numéro 2003-296 mentionne aussi le rôle de l'Institut dans la mesure des doses individuelles externes et internes des travailleurs exposés, dans la fourniture d'expertises, telles que des études de postes de travail, ou encore de conseils en soutien aux médecins du travail ou aux personnes compétentes en radioprotection. Enfin, il ouvre à l'IRSN des perspectives d'études et de recherches, comme l'exploitation des données dosimétriques à des fins épidémiologiques.

Suivi de l'exposition des travailleurs

Pour assurer le suivi de l'exposition des travailleurs, l'IRSN dispose de deux outils :

- SIEVERT, pour l'évaluation des doses des personnels navigants. Maintenant opérationnel, il a été développé en collaboration avec la DGAC. Depuis 2004, le modèle qui prend en compte les éruptions solaires pour le calcul des doses a été amélioré.

- SISERI centralise, au plan national, l'ensemble des données dosimétriques des travailleurs exposés. L'année 2004 a été décisive dans la mise en place de SISERI. Les tâches lancées ont vu leur aboutissement :

- aménagement de locaux rénovés et sécurisés pour l'équipe en charge du fonctionnement de SISERI et pour les serveurs informatiques ;
- mise en place et réception du système informatique, avec notamment la reprise des informations provenant de l'ancienne base de données ;
- tests des différentes composantes (juridiques, informatiques, etc.) du système lors de la phase pilote (deuxième semestre 2004), avec un nombre restreint d'établissements consultant ou transmettant les informations dosimétriques ;

- communication sur les échéances, fonctionnalités et dispositions réglementaires du système aux différents partenaires et utilisateurs (médecins du travail et personnes compétentes en radioprotection) ;

- publication au JO du décret du 30 décembre 2004, autorisant l'utilisation par l'IRSN du Répertoire national individuel des personnes physiques (RNIPP) ; de l'arrêté relatif à la carte de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ; de l'avis favorable du 24 juin 2004 de la CNIL sur la gestion de données confidentielles dans SISERI. Ces trois textes réglementaires étaient nécessaires pour le lancement officiel de SISERI.

Le système sera opérationnel en 2005, tous les contributeurs et utilisateurs devant accéder à la base de données selon des protocoles définis. L'intégration dans la base des données dosimétriques les plus anciennes sera poursuivie. SISERI devrait ainsi constituer rapidement un outil fondamental pour le suivi des travailleurs exposés dans les entreprises, ainsi qu'un outil d'expertise puissant permettant de tirer parti des nombreuses informations centralisées à des fins de prévention ou de protection.

Agréments et intercomparaisons

En application de l'arrêté du 6 décembre 2003, quatre laboratoires de dosimétrie externe sur 10 environ ont sollicité en 2004 l'avis de l'IRSN en vue de leur agrément par la Direction des relations du travail. L'avis de l'IRSN porte sur l'adéquation des matériels et des méthodes utilisés. L'arrêté impose aussi à l'IRSN d'organiser une intercomparaison des dosimètres proposés par les laboratoires. Cette intercomparaison a été effectuée en octobre 2004.



Console d'acquisition du scanner à l'hôpital Cochin.

Radioprotection dans le domaine médical

La justification des actes médicaux et l'optimisation des expositions sont les deux principes sur lesquels repose la radioprotection des personnes exposées à des fins médicales. Ces principes figurent dans la directive 97/43 Euratom. Ils sont repris en France dans le décret n°2003-270 du 24 mars 2003 et les dispositions correspondantes sont inscrites dans le Code de la santé publique (articles R.1333-55 à 74).

La réflexion sur les actions à mener pour la radioprotection des patients a été lancée en 1998 par une mission d'étude, confiée aux professeurs Bonnin et Lacronique, concernant les mesures « permettant de renforcer la protection radiologique des patients, c'est-à-dire de réduire au plus bas niveau les doses administrées, tout en maintenant la qualité de l'acte radiologique ». Par la suite, un groupe de travail réunissant des experts des structures institutionnelles et les professionnels de santé a émis des recommandations publiées en 2002 par l'InVS. Enfin en 2003, en concertation

FOCUS

EXAMENS RADIOGRAPHIQUES EN MÉDECINE SPORTIVE

Un arrêté du 11 février 2004 définit la nature et la périodicité des examens médicaux, qu'ils soient communs à toutes les disciplines sportives ou réalisés spécifiquement pour une discipline sportive.

Des examens radiographiques peuvent être prescrits, tels que ceux du rachis lombaire (face, profil, trois quarts) réalisés annuellement avant l'âge de quinze ans puis tous les deux ans, ou ceux du rachis cervical (face, profil avec mesure de l'indice de Torg) tous les deux ans. La Direction des sports du ministère de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative a demandé en 2004 à l'IRSN de réaliser une expertise pour évaluer le risque associé aux examens radiographiques prévus.

L'IRSN a examiné plusieurs cas caractérisés par la morphologie et l'âge du sportif (afin d'adapter les paramètres des examens radiographiques) et par la durée de la carrière sportive :

- sportif mince ou fort ;
- adolescent de moins de 15 ans ou de plus de 15 ans ;
- carrière sportive de six ans ou dix ans.

Pour chacun de ces cas, les doses (en mGy) reçues par l'organe le plus exposé, par la thyroïde et par les gonades, ainsi que la dose efficace (en mSv) ont été calculées. Pour ce qui concerne les doses efficaces individuelles reçues sur l'ensemble d'une carrière sportive, elles sont comprises entre 0,4 et 5,6 mSv, soit au plus de l'ordre de la dose reçue lors d'un seul examen par scanner.



Salle d'interprétation scanner.

étroite avec les services concernés de l'IRSN et de l'InVS, la DGSNR a établi un plan d'actions pour la surveillance des expositions des patients aux rayonnements ionisants d'origine médicale (PASEPRI).

Les actions retenues répondent à deux objectifs :

- mieux connaître les doses d'exposition des patients aux rayonnements ionisants, afin d'en permettre une meilleure optimisation ;
- réunir les connaissances nécessaires pour développer ultérieurement des actions de surveillance épidémiologique des effets des rayonnements ionisants sur les patients.

Les actions sont regroupées en six thèmes : la réglementation, le système d'informations sur les expositions, la surveillance des effets des rayonnements ionisants, les études, le triptyque information-formation-veille scientifique, et enfin la recherche. Tous ces thèmes concernent plus ou moins l'IRSN et certains relèvent même de ses missions. Deux thèmes concernent l'IRSN au premier chef : les niveaux de référence diagnostiques et l'observatoire des expositions médicales.

Les niveaux de référence diagnostiques

L'arrêté du 12 février 2004 indique dans son article 5 : « L'IRSN est chargé de recueillir les données nécessaires à la mise à jour périodique des niveaux de référence diagnostiques. Il reçoit, à cet effet, de la part de l'exploitant ou du titulaire de l'autorisation, les résultats des évaluations effectuées en application des articles 2 et 3 ». Les examens concernés par ce texte comprennent des examens de radiologie conventionnelle (six chez l'adulte, quatre chez l'enfant), quatre examens de scanographie chez l'adulte et 10 examens de médecine nucléaire.

FOCUS

GUIDE COMMUN IRSN/AVN/GRS D'ÉVALUATION DE SÛRETÉ

L'IRSN et ses homologues allemand (GRS) et belge (AVN) développent depuis plusieurs années une étroite collaboration dans de nombreux domaines

comme la recherche et les études de sûreté, aussi bien que des échanges d'informations sur les problèmes rencontrés dans les installations nucléaires, afin d'améliorer leurs compétences en sûreté nucléaire. Après une comparaison approfondie des pratiques d'évaluation de sûreté mises en œuvre dans les trois organismes, ceux-ci ont décidé d'élaborer en commun un guide d'évaluation de sûreté.

Le but de ce guide est de fournir des recommandations concernant la réalisation des analyses de sûreté, effectuées sur les dossiers de sûreté transmis par les exploitants nucléaires. Il précise les règles à respecter pour garantir la qualité de ces analyses, en mettant notamment l'accent sur l'objectivité et la qualité technique des expertises, facteurs essentiels à la crédibilité des appréciations. Le guide s'applique à l'expertise de toutes sortes d'installations ou d'activités nucléaires, y compris de transport ou de stockage de matières radioactives.

Les travaux achevés en 2004 ont porté sur les principes généraux de la réalisation d'une évaluation de sûreté notamment. Ils seront complétés sur les aspects plus techniques, concernant les principes de sûreté et les points clefs des expertises associées aux différents types d'installation ou d'activité nucléaire.



Installation du patient pour un examen scanner.

L'action de l'IRSN en 2004 a consisté principalement à présenter les modalités d'application de ce texte aux professionnels de santé, et à mettre au point, avec les experts des sociétés savantes scientifiques, des fiches de recueil des informations. Le recueil des données débute. Fin 2004, une dizaine de services de médecine nucléaire (sur environ 300)

et un service de radiologie (sur environ 5 000) avaient transmis à l'IRSN les informations demandées par l'arrêté. Par ailleurs, plusieurs services de radiologie ont sollicité l'IRSN pour les aider à valider les données dosimétriques fournies par leurs installations ou à mesurer les doses délivrées à la peau des patients.

FOCUS

RENFORCEMENT DE LA COOPÉRATION AVEC LES ORGANISMES CHINOIS DE SÛRETÉ ET DE RADIOPROTECTION

Lancée il y a une vingtaine d'années, à l'occasion de la construction par des sociétés françaises de la centrale nucléaire de Daya Bay (Chine), la coopération entre l'IRSN et ses partenaires chinois en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection a principalement porté sur la formation de stagiaires et sur le partage de méthodes et d'outils d'analyse.

En 2004, les autorités chinoises et l'IRSN sont convenus de donner un nouvel élan à cette coopération. Cela s'est traduit par la réalisation ou le lancement en cours d'année de plusieurs actions. Ainsi, le directeur général de l'IRSN a rencontré, en février 2004, les responsables de l'autorité de sûreté et de radioprotection et des organismes d'expertise et de recherche en sûreté nucléaire chinois. De même, un nouveau programme d'accueil de stagiaires chinois à l'IRSN a été engagé, ainsi qu'une réflexion en faveur de projets communs en radioprotection et en sûreté nucléaire, y compris la mise en place de laboratoires associés. Enfin, l'association d'organismes chinois à des programmes de recherche de l'IRSN, tels que le programme international CABRI et le programme TERME SOURCE, a fait l'objet de premières discussions.





Installation radiologique de cardiologie
à l'hôpital Cochin.

L'observatoire des expositions médicales aux rayonnements ionisants

La connaissance de la fréquence des divers examens radiologiques, ainsi que des doses qui leur sont associées, est nécessaire pour évaluer la contribution de l'exposition médicale à l'exposition de la population. Elle permet également de répondre à la demande croissante d'information du public sur les pratiques médicales, le volume des actes et les doses associées à ces actes. C'est pourquoi l'IRSN et l'InVs associent leurs efforts pour constituer, à des fins d'expertise publique, un observatoire des expositions médicales aux rayonnements ionisants. En 2004, un travail préliminaire a consisté à réaliser un bilan des données disponibles en France à partir des bases de données institutionnelles (CNAM-TS et SAE). Elles ont permis de dénombrer environ 44,3 millions d'actes par an, dont 3,5 millions en scanographie, mais elles n'apportent pas d'informations sur la nature précise des actes et les doses qui leur sont associées. Cette première synthèse constitue toutefois la base sur laquelle l'observatoire va s'appuyer pour les actions futures qui vont se décliner dès 2005, suivant deux axes majeurs :

- la constitution d'un réseau d'établissements représentatifs des pratiques françaises ;
- des enquêtes plus ponctuelles permettant d'affiner l'analyse des pratiques.

FOCUS

ACCUEIL DE STAGIAIRES ISSUS DES ORGANISMES DE SÛRETÉ CHINOIS

Ayant répondu favorablement à une demande de support de l'AIEA au sujet de la protection contre l'incendie, l'IRSN a accueilli début mai 2004 une représentante de la China Atomic Energy Authority et trois ingénieurs du Beijing Institute of Nuclear Engineering.

Durant deux semaines, des agents de l'IRSN ont exposé leurs méthodes d'évaluation et les référentiels utilisés, en les illustrant par des cas concrets d'analyse. Cette prise de contact marque le début d'une collaboration avec les instances nucléaires chinoises dans le domaine de la protection contre l'incendie et l'explosion. Par ailleurs, dans le cadre de la collaboration entre l'IRSN et la NNSA-NSC, deux ingénieurs du Nuclear Safety Center de Pékin (Chine) sont arrivés en octobre 2004 à l'IRSN pour un stage d'un an : l'un pour travailler sur les réexamens de sûreté des centrales nucléaires, l'autre pour participer à des études probabilistes de sûreté.



Les spécialistes IRSN de la protection incendie et explosion ont reçu une délégation chinoise le 14 mai 2004 dans les locaux de Fontenay-aux-Roses.



Le dialogue entre les acteurs de la crise est facilité par l'usage des cartes où sont répertoriés les points de mesure autour de l'installation accidentée.

Appui opérationnel en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique

La contribution opérationnelle de l'IRSN en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique concerne la phase d'urgence elle-même, mais aussi la phase post-accidentelle. Pour l'ensemble de ces situations l'Institut dispose de moyens qu'il met en œuvre et dimensionne en fonction de l'ampleur de l'événement.

En 2004, l'IRSN a participé aux travaux de révision des textes officiels relatifs au traitement des situations d'urgence radiologique et à la transposition des directives européennes dans ces domaines menés par le SGDN. Ces travaux ont notamment concerné la mise au point d'une directive interministérielle sur l'action des pouvoirs publics en situation d'urgence radiologique et le développement d'une directive pour la réalisation

et le traitement des mesures de radioactivité dans l'environnement en situation d'urgence radiologique. La première directive date du 7 avril 2005, et confie à l'IRSN un rôle central en matière de coordination technique et d'interprétation des mesures de radioactivité dans l'environnement. Pour se préparer à ce rôle, l'organisation interne de crise de l'IRSN a elle-même évolué en 2004.

Les situations d'urgence

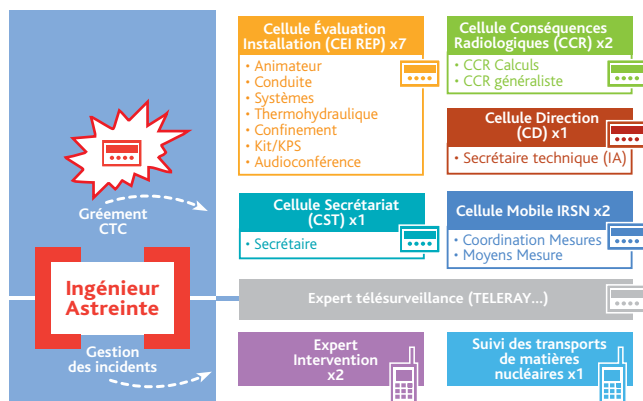
En cas d'urgence, l'IRSN apporte aux pouvoirs publics un appui opérationnel fondé sur des moyens fixes et des moyens mobiles, rapidement mobilisables : centre technique de crise, moyens d'évaluation des expositions individuelles, etc.

Développement des moyens de crise
Rénovation du Centre technique de crise (CTC)
Débutés en 2003, les travaux de rénovation du CTC de l'Institut ont été achevés en 2004. Outre la rénovation des infrastructures, les locaux qui accueillent les cellules techniques ont été

agrandis et leur ergonomie a été améliorée. Les équipements téléphoniques et audiovisuels ont été redimensionnés et l'accès à la documentation a été facilité.

Évolution du système d'astreinte

L'Institut a engagé en 2004 une refonte globale de son système d'astreinte. Les pratiques antérieures, héritées de l'IPSN et de l'OPRI, ont été harmonisées afin de disposer d'un système coordonné, homogène et cohérent. Par ailleurs, le rôle de « l'ingénieur d'astreinte » a été précisé : il est désormais le point d'entrée unique de l'IRSN pour les appels d'urgence.



L'ingénieur d'astreinte est le point d'entrée unique de l'IRSN, 24h/24, pour tout type d'appels d'urgence.

Le dispositif comprend également des agents mobilisables pour la cellule mobile de l'IRSN qui serait dépêchée sur les lieux de l'accident, en complément des agents intervenant au CTC.

Organisation, méthodes et outils

L'organisation de crise, les méthodes et les outils d'expertise font l'objet d'améliorations continues. Les réflexions sur les méthodes d'expertise à retenir pour un accident affectant les réacteurs d'EDF ont été poursuivies. Les outils d'aide à l'expertise de l'état des installations et d'estimation des conséquences pour les laboratoires et usines ont été complétés. De plus, en 2004, des travaux ont été menés pour le cas d'une situation de crise qui affecterait une installation ou un bâtiment de la marine nationale. Ils ont conduit à la définition et à la mise en œuvre d'une organisation spécifique pour la Cellule chargée de l'évaluation de l'installation (« CEI-Marine ») du CTC. L'Institut et l'état-major de la marine ont engagé une réflexion pour élaborer une méthode d'expertise commune et développer des outils d'estimation des conséquences de situations accidentelles.

Exercices et retour d'expérience

L'IRSN a participé aux 12 exercices organisés par les pouvoirs publics pour tester l'organisation nationale de crise, par l'activation de son CTC et l'envoi de sa cellule mobile au poste de commandement opérationnel (PCO) de la préfecture. Il convient de souligner la diversification de plus en plus grande des situations accidentelles envisagées (installations militaires, transports) et des sujets traités lors des exercices, en particulier la phase post-accidentelle.

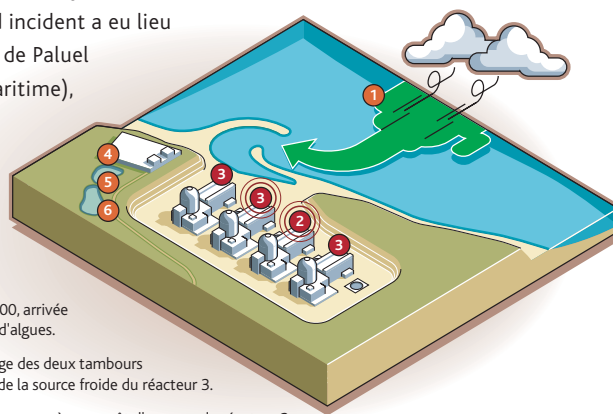
La nécessité de poursuivre le développement des méthodes d'expertise est l'un des enseignements

GRÉEMENTS RÉELS DU CTC

Le Centre technique de crise (CTC) de l'IRSN a été activé en 2004 à l'occasion de deux incidents réels ayant affecté des centrales nucléaires d'EDF :

■ **le dimanche 16 mai**, un incendie s'est déclaré dans le réacteur n° 2 de la centrale de Cattenom (Moselle), entraînant la destruction de câbles électriques. L'exploitant a déclenché de façon préventive son Plan d'Urgence Interne (PUI) « sûreté et radiologique ». Prévenus par le dispositif d'alerte de la DGSNR, les personnels d'astreinte de l'IRSN ont rejoint le CTC vers 15 heures et ont effectué un suivi de l'évolution de la situation. Vers 18 heures, en l'absence d'éléments inquiétants, le CTC a été désactivé et une veille à domicile a été maintenue jusqu'au lendemain (cf. Focus p.92) ;

■ **le mercredi 23 juin** vers 19 heures, un second incident a eu lieu sur le site de Paluel (Seine-Maritime),



- 1 Vers 19h00, arrivée massive d'algues.
- 2 Colmatage des deux tambours filtrants de la source froide du réacteur 3.
- 3 Peu de temps après, un arrêt d'urgence du réacteur 2 s'est avéré nécessaire puis les réacteurs 1 et 4 ont été arrêtés à titre préventif.
- 4 À la demande d'EDF et de la DGSNR, l'IRSN a gréé son CTC vers 23h00 pour suivre l'évolution de la situation.
- 5 Le CTC est resté gréé toute la nuit.
- 6 Sa désactivation a été décidée le lendemain vers 15h00, après différents points.

Bien que ces deux incidents n'aient pas présenté de risque important du point de vue de la sûreté des réacteurs, ils ont montré la réactivité du CTC, ainsi que la grande motivation professionnelle des équipes d'astreinte.



Dialogue entre le médecin et les experts de la mesure de la contamination dans le laboratoire mobile Master Gemini de l'IRSN.

de ces exercices. Pour les réacteurs d'EDF, cela concerne des situations particulières (états à l'arrêt). Pour les laboratoires, les usines et les transports, les actions engagées pour disposer de fiches précalculées de trois rejets et des conséquences et d'outils spécifiques doivent être poursuivies. Enfin, ces exercices ont souligné qu'un effort important devra être consacré à l'amélioration de la coordination et à l'interprétation des mesures dans l'environnement, ainsi qu'à la gestion de la phase post-accidentelle. De même, le CTC devra rénover ses outils cartographiques pour mieux répondre aux besoins des interlocuteurs extérieurs.

Moyens opérationnels fixes pour l'évaluation des expositions individuelles

En cas de crise, en plus de ses moyens mobiles, l'IRSN peut être amené à utiliser des moyens fixes présents sur les sites de Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine) et du Vésinet (Yvelines). Ces moyens sont dédiés au suivi dosimétrique des travailleurs exposés et, en cas d'accident ou de suspicion d'irradiation externe ou de contamination interne, à l'évaluation des doses reçues pour un petit nombre de victimes. Pour chacun de ces moyens, les capacités opérationnelles ont été estimées

FOCUS

EXERCICE DE TRAITEMENT DES VICTIMES D'UN ATTENTAT RADIOLOGIQUE

L'IRSN a participé à l'exercice R 53, portant sur le traitement de personnes victimes d'un attentat terroriste radiologique organisé à l'hôpital Necker (Paris), le dimanche 10 octobre 2004 par l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, le SAMU 75, la Préfecture de Police de Paris et la DGSNR.

La brigade des sapeurs-pompiers de Paris, le SPRA et l'IRSN avaient été invités à participer. Le ministre de la Santé et le représentant du ministre de l'Intérieur étaient présents lors de l'exercice.

Le scénario retenu était celui d'une bombe « sale » explosant dans un endroit public, entraînant l'arrivée spontanée de 50 personnes dans un hôpital ainsi que trois blessés graves contaminés, amenés par ambulance. L'exercice avait pour but de tester la mise en place des équipements nécessaires en cas de contamination radioactive. Les personnes contaminées étaient jouées par le personnel de l'école d'infirmières de l'hôpital Necker. Les tentes d'accueil et de décontamination avaient été pré-positionnées de telle sorte que leur montage a pris peu de temps.

L'IRSN a envoyé à l'hôpital Necker :

- deux opérateurs pour réaliser des contrôles de contamination interne avec le laboratoire mobile (Master Gemini),
- trois opérateurs pour réaliser les contrôles de radioactivité en amont et en aval de la chaîne de décontamination,
- un médecin observateur,
- un spécialiste au PC de crise local appelé « Tour de contrôle »,
- un médecin chargé de tâches de communication.

L'IRSN a participé au tri des personnes arrivées à l'hôpital et a effectué des contrôles de la contamination des personnes.



Pour tous les exercices de crise, des experts de l'Institut sont mobilisés pour bâtir un scénario adapté.

en associant au nombre d'examens réalisables des limites de détection acceptables pour des évaluations en urgence.

L'évaluation biologique de la dose reçue par irradiation externe est fondée sur le dénombrement des anomalies chromosomiques instables dans les lymphocytes circulants. L'IRSN a mis en place une technique qui permet de traiter 200 échantillons sanguins en deux semaines avec une incertitude sur la dose de ± 1 Gy. En 2004, une convention d'assistance mutuelle a été signée avec le NRPB (Royaume-Uni) et le BFS (Allemagne) ; chacun des signataires pourrait requérir l'aide des deux autres s'il faut traiter plus de 300 échantillons. Si des intervenants devaient être pourvus de dosimètres passifs, l'IRSN dispose de 4 000 dosimètres qu'il pourrait traiter en deux lots de 2 000 dosimètres en un jour et demi pour chacun des lots.

La contamination interne est appréciée par la mesure de la rétention corporelle par anthroporadiamétrie et par la mesure des radionucléides dans les excréta (urines, selles). La capacité opérationnelle des moyens anthroporadiamétriques fixes de l'IRSN pour la mesure de la rétention pulmonaire des actinides, de la rétention des isotopes radioactifs de l'iode dans la thyroïde et de celle des produits de fission et d'activation dans le corps entier sont présentées dans le tableau 1. Les capacités opérationnelles de l'IRSN en matière d'analyses radiotoxicologiques sont présentées dans le tableau 2. En fonction de la complexité de la situation d'exposition et des informations disponibles, notamment sur les caractéristiques physico-chimiques du contaminant, l'évaluation de la dose reçue par une personne contaminée nécessite une durée de trente minutes à quatre heures.

FOCUS

EXERCICE D'ACCIDENT DE TRANSPORT DE MATIÈRES RADIOACTIVES

Le 30 septembre 2004 s'est déroulé un exercice national de crise concernant un accident simulé de transport impliquant des matières radioactives.

Pour la première fois, le scénario concernait un transport ferroviaire et supposait une collision entre un camion-citerne et un wagon chargé d'un colis de combustibles irradiés en provenance d'une centrale EDF, à un passage à niveau à proximité de la gare de triage de Saint-Pierre-des-Corps (Indre-et-Loire).

L'expertise a consisté à diagnostiquer l'état du colis et à pronostiquer son évolution de manière à évaluer les conséquences de l'accident dans l'environnement et à apprécier la solution de reprise du colis proposée par l'expéditeur.

À cette fin, outre la préparation et l'animation de l'exercice, l'IRSN a déployé son organisation de crise en tant que soutien aux pouvoirs publics (activation du Centre technique de crise et envoi d'une cellule mobile sur les lieux du sinistre).

L'exercice a mis en évidence les progrès accomplis depuis l'exercice précédent, notamment dans l'organisation de la cellule mobile, et les principaux points sur lesquels l'Institut doit progresser, comme la remontée des informations depuis le lieu de l'accident, l'autonomie des moyens de transmission, etc.



Mise en place d'un scénario accident.



Au poste de commandement opérationnel, les experts de l'IRSN expliquent aux sapeurs-pompiers le plan de mesures à réaliser aux alentours de l'installation accidentée.

Capacité opérationnelle des moyens anthroporadiométriques fixes de l'IRSN

	Rétention pulmonaire des actinides			Rétention des iodes dans la thyroïde			Rétention dans le corps entier des produits d'activation et de fission			
Radionucléide	239Pu	241Am	U naturel	125I	129I	131I	57Co	60Co	134Cs	137Cs
Limite de détection (*) (Bq)	13 800	60	750	3	5,2	6,4	100	72	64	100
Temps de comptage	10 minutes			10 minutes			5 minutes			
Capacité opérationnelle	210 personnes par semaine			210 personnes par semaine			560 personnes par semaine			

(*) Les limites de détection ont été estimées pour un homme standard de 70 kg et majorées pour tenir compte d'une possible augmentation du bruit de fond ambiant en cas d'accident.

Capacité opérationnelle du laboratoire d'analyses médicales radiotoxicologiques de l'IRSN

	Mesure directe des émetteurs gamma dans les urines	Mesure directe des émetteurs bêta dans les urines (3H, 14C, 90Sr)	Mesure bêta du strontium 90 dans les urines	Mesure des émetteurs alpha dans les urines ou les selles (238-239Pu, 234-235-238U)	Mesure pondérale de l'uranium (naturel ou appauvri) dans les urines
Limite de détection	16 Bq/l	3 840 Bq/l	1 Bq/l	2 Bq/l	5 µg/l
Temps de comptage	15 minutes	7,5 minutes	60 minutes	36 heures (*)	Mesure immédiate
Capacité opérationnelle	270 échantillons par jour	480 échantillons par jour	60 échantillons par jour	32 échantillons par jour	50 échantillons par jour

(*) Au temps de comptage, il convient d'ajouter un délai incompressible d'au minimum 3 jours nécessaire au traitement préalable des échantillons.

Appui à la gestion des situations post-accidentelles

Deux groupes de travail internes à l'IRSN ont été mis en place pour élaborer des propositions en matière de principes directeurs pour la gestion d'une situation post-accidentelle et de stratégie de mesures de la radio-activité des personnes et de l'environnement.

Le groupe de travail « principes directeurs » a entrepris des réflexions sur la levée de la mise à l'abri des populations après un accident nucléaire. La mise à l'abri permet de protéger les populations des conséquences immédiates d'un accident, mais elle ne peut pas être prolongée très longtemps ; une décision doit être prise concernant le maintien des populations dans la zone concernée ou leur



Pendant l'exercice, les sapeurs-pompiers sont chargés d'effectuer les prélèvements de terrain commandités par l'IRSN.

éloignement temporaire (voire définitif). Ce sujet difficile, peu exploré au plan international, ne saurait uniquement être réglé à l'aide de critères techniques. Une concertation approfondie est sans doute nécessaire entre les parties prenantes (pouvoirs publics, élus, populations) au cours de la phase post-accidentelle. Durant cette phase, le risque radiologique est lié à une exposition à long terme à de faibles débits de dose.

Le groupe de travail « mesure de la radioactivité » a commencé par préciser les principaux objectifs des mesures de la radioactivité aux différents stades d'une crise nucléaire ou radiologique :

- au cours de la phase d'urgence, il s'agit de déterminer la zone affectée par le passage du panache radioactif et de mieux apprécier le rejet et les diverses conséquences de l'accident ;
- au début de la phase post-accidentelle, les mesures servent à effectuer une première caractérisation radiologique afin de guider les décisions des pouvoirs publics quant à la protection des populations concernées ;
- ensuite, durant la phase post-accidentelle, les mesures doivent permettre notamment de circonscrire les zones de dépassement des niveaux maximaux admissibles pour la commercialisation et la consommation des denrées alimentaires issues des territoires contaminés et de définir les stratégies de réhabilitation des milieux agricoles et bâtis. Par ailleurs, l'Institut a poursuivi en 2004 la mise au point des outils informatiques de collecte, en situation accidentelle, des mesures de radioactivité dans l'environnement (DATARAD) et de représentation graphique de ces résultats (CARTORAD). Ce travail doit permettre à l'IRSN de mieux assurer sa mission de centralisation et d'interprétation au niveau national de l'ensemble des résultats des mesures de contamination réalisées en situation accidentelle et en situation post-accidentelle par

FOCUS

EXERCICE DE PIERRELATTE

L'exercice de crise majeur de l'année 2004 a été réalisé sur le site du Tricastin (Drôme) les 18 et 19 novembre sous la coordination du SGDN.

Il a fortement mobilisé l'Institut à divers titres. Outre l'animation du scénario technique, l'activation du CTC et l'envoi d'une cellule mobile au poste de commandement opérationnel, la nouveauté a consisté à dépêcher une personne au CICNR, placé sous l'autorité du Premier ministre, et à une cellule de crise mise en place par le COGIC du ministère de l'Intérieur. Ces cellules intergouvernementales ne participent pas systématiquement à tous les exercices. L'IRSN y intervient en tant que conseil technique.

L'exercice de Pierrelatte présentait par ailleurs un certain nombre de particularités : il devait permettre de tester la capacité de l'organisation nationale de crise à gérer la phase d'urgence de l'accident mais également le début de la phase post-accidentelle. Des questions comme la levée de la mise à l'abri des populations situées à proximité du site ont été abordées. Au cours de l'exercice, l'IRSN a adressé aux autorités de sûreté (DSND puis DGSNR) différentes recommandations, y compris en matière de restrictions de consommation, de réhabilitation des zones contaminées, de recensement et de contrôle des populations. Cet exercice a mis en évidence la nécessité pour l'IRSN de renforcer sa présence au niveau local en cas de crise.



Au poste de commandement opérationnel, l'IRSN fait le point sur les aspects liés aux mesures dans l'environnement.



Dans le camion LMR de l'IRSN, 12 personnes peuvent être contrôlées en parallèle au niveau de la thyroïde ou du thorax.

FOCUS

CD-ROM « ÉLÉMENTS SUR LE RISQUE NUCLÉAIRE ET SA GESTION »

En avril 2004, l'IRSN a diffusé un CD-ROM sur le risque nucléaire et sa gestion.

L'objectif était de présenter aussi clairement que possible des informations, accessibles aux non-spécialistes, sur les accidents nucléaires, leurs conséquences possibles à court et à long terme et la façon dont une situation accidentelle pourrait être gérée. Il est apparu en effet souhaitable que toutes les parties concernées puissent disposer d'une culture commune du risque nucléaire et de sa gestion.

Ce CD-ROM est destiné prioritairement aux services déconcentrés de l'État chargés de la gestion d'une crise : corps préfectoral, services responsables de la protection civile, de la protection contre l'incendie et des secours, services responsables de la santé, de l'agriculture et de l'équipement, gendarmerie, etc. Il s'adresse également aux CLI, compte tenu des diverses missions qui leur sont dévolues.

L'Institut a accompagné en 2004 la diffusion de cet outil en réalisant des séances de présentation détaillée du CD-ROM, à la demande notamment du DSND, du comité scientifique de l'ANCLI, de la division protection et sécurité de l'État, du SGDN et de la CLI de Nogent-sur-Seine (Aube).



différentes équipes, notamment les sapeurs pompiers et les exploitants.

Afin d'évaluer l'évolution au cours du temps de la contamination de la chaîne alimentaire et des différents compartiments de la biosphère, le CTC de l'Institut s'appuie sur une équipe spécialisée située à Cadarache (Bouches-du-Rhône) qui utilise des outils de calcul d'impact comme ASTRAL ainsi que des logiciels de représentation cartographique. L'équipe peut donc intégrer des informations environnementales provenant du terrain et de la modélisation. Cette organisation a été testée au cours de l'exercice de crise à volet post-accidentel SECNUC, concernant un rejet accidentel des installations de la COGEMA à Pierrelatte (Drôme), les 18 et 19 novembre 2004.

L'IRSN s'est en effet fortement impliqué dans la préparation de cet exercice coordonné par le SGDN et par la MARN (DDSC), ainsi que celui de Belleville sur Loire (Cher), réalisé en mars 2005. La contribution de l'Institut dans ce domaine a porté sur :

- la préparation de la stratégie de mesures de la radioactivité dans l'environnement et dans les denrées alimentaires ;
- l'identification des actions pouvant être mises en œuvre au cours des premières heures suivant la levée de la mise à l'abri des populations ;
- l'élaboration d'une version préliminaire d'un outil destiné à guider les réflexions du CTC de l'IRSN concernant les premières actions de réhabilitation des milieux agricoles et bâtis.



La rénovation des moyens mobiles prévoit la remise à niveau de tous les équipements (véhicules, matériels de mesure, informatique).

Appui opérationnel en cas de crise

L'IRSN apporte aux services déconcentrés de l'État un soutien opérationnel sur le terrain pour la coordination et la validation des mesures de radioactivité réalisées dans l'environnement et sur les populations par différents opérateurs.

Cet appui concerne la phase d'urgence et la phase post-accidentelle. En 2004, à chaque exercice, la cellule mobile de l'Institut, composée d'une

équipe de coordination des mesures et d'une équipe de moyens mobiles de mesure a été mobilisée de manière réelle ou fictive et mise à la disposition du poste de commandement opérationnel sur site. Lors de l'exercice « transport » de Saint-Pierre-des-Corps (Indre-et-Loire), la cellule a été renforcée par l'adjonction d'un responsable de cellule, qui était également conseiller en radioprotection opérationnelle auprès des intervenants.

FOCUS

PROJET DE RÉNOVATION DES MOYENS MOBILES

L'IRSN a engagé en 2004 une réflexion pour élaborer un plan de rénovation de ses moyens mobiles ; la réflexion porte essentiellement sur les moyens nécessaires pour faire face aux différentes situations auxquelles l'Institut pourrait être confronté.

L'Institut dispose d'un parc de moyens mobiles développés dès les années soixante-dix pour les plus anciens, la grande majorité datant des années quatre-vingt. Ils sont destinés à la réalisation de mesures anthropogammamétriques à grande échelle de la population susceptible d'avoir été exposée à des rejets radioactifs. L'objectif de ces mesures est d'opérer un tri des populations selon leur niveau de contamination interne, afin de les orienter vers les services médicaux adéquats. Ces moyens peuvent également être utilisés pour mesurer par spectrométrie γ la radioactivité présente dans des échantillons de la chaîne alimentaire ou des prélèvements effectués dans l'environnement.

Ces moyens ont été engagés en France lors des exercices de crise auxquels l'IRSN participe et pour diverses opérations d'intervention : sur des sites pollués (site Bayard à Saint-Nicolas-d'Aliermont, Seine-Maritime), pour le suivi de transports (wagons SNCF), pour des mesures d'exposition aux retombées de l'accident de Tchernobyl (Saint-Jean-d'Ormont, Vosges, et dans le Mercantour) ou encore lors d'incidents de contamination survenus au cours d'arrêts de centrales nucléaires. Dans l'ensemble, le parc des moyens mobiles d'intervention est maintenu opérationnel, mais il est, du fait de son ancienneté, de plus en plus difficile à entretenir.



1 714 000
dosimètres personnels
fournis et exploités

1 019
prestations d'analyse
des eaux potables

150
prestations d'analyse
des denrées alimentaires

Près de

150
interventions
en radioprotection

Prestations contractuelles d'expertise, de recherche et de mesure

La vente de prestations permet à l'IRSN de valoriser le savoir-faire et les compétences particulières acquis dans le domaine nucléaire applicables à d'autres domaines d'activité. La vente est aussi un moyen d'optimiser l'utilisation des plateaux techniques développés pour les programmes de recherche. Elle permet également à l'Institut de diversifier ses sources de revenus.

Hors cofinancement de recherches, les prestations effectuées par l'IRSN correspondent à environ 5 % de son budget actuel. Leur développement ne devrait pas conduire à excéder 15 % de ce budget. Par ailleurs, l'Institut veille à ce que ces prestations restent compatibles avec sa mission d'appui et de concours technique aux pouvoirs publics.

> 138 Prestations relatives à des exigences réglementaires

> 142 Prestations non liées à des exigences réglementaires





Salle des évaporateurs du laboratoire d'analyse des eaux au Vésinet (Yvelines).

Prestations relatives à des exigences réglementaires

Contrôle radiologique des eaux destinées à la consommation humaine

L'évolution des réglementations visant à apporter une plus grande protection des consommateurs a entraîné une forte demande de mesures de radio-activité dans les eaux destinées à la consommation humaine. L'IRSN réalise pour les industriels et les organismes de contrôle (DDASS) des prestations d'analyses radiologiques de ces eaux.

La qualité radiologique d'une eau est évaluée par deux paramètres : la dose totale indicative (DTI) et l'activité du tritium. La stratégie de mesure consiste à mesurer l'activité du tritium et l'activité globale des radionucléides émetteurs alpha et bêta. Si ces activités sont inférieures respectivement à

100 Bq/l, 0,1 Bq/l et 1 Bq/l, la DTI est considérée inférieure à 0,1 mSv par an. Dans le cas contraire, des analyses complémentaires sont réalisées pour identifier les radionucléides naturels ou artificiels responsables de ces dépassements et un calcul de dose est réalisé pour une consommation de 730 litres d'eau par an. Cette dose est alors comparée à la valeur de 0,1 mSv/an fixée par la directive Euratom, sur la base des recommandations de l'OMS.

Les délais de réalisation varient de 4 à 12 semaines selon les analyses réalisées. En 2004, environ 20 % des cas traités ont nécessité des analyses complémentaires. La nouvelle réglementation a conduit à un triplement du nombre d'échantillons traités par l'IRSN en 2004 par rapport à 2003.

Mesure de dépistage du radon

Dans le cadre de la gestion du risque lié au radon dans les bâtiments, l'IRSN réalise des prestations de dépistage et d'investigations complémentaires telles qu'elles sont définies par la réglementation. En 2004, plusieurs établissements ouverts au public

ont fait l'objet de mesures du radon. Le service concerné de l'IRSN (service d'intervention et d'assistance en radioprotection) est certifié ISO 9001 par l'AFAC pour les études et les expertises dans le domaine de la mesure du radon.



L'irradiateur au cobalt 60 « ICO 4000 ».

Prestations en radioprotection des travailleurs

Le décret 2003-296 du 31 mars 2003 et ses arrêtés d'application, relatifs à la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants, conduisent l'IRSN à effectuer des prestations de mesure des doses individuelles externes et internes des travailleurs exposés, des expertises telles que des études de postes de travail, et des activités de conseil, par exemple en soutien aux médecins du travail et aux personnes compétentes en radioprotection.

Suivi de l'exposition externe des travailleurs exposés

Plus de 250 000 travailleurs sont soumis à un risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants en France. Quel que soit le domaine concerné (médecine, industrie nucléaire ou non), le suivi des expositions professionnelles est assuré réglementairement par la dosimétrie passive. Les techniques utilisées pour la mesure des doses sont diverses : photographie, thermoluminescence ou détection de traces. Elles conduisent à une large gamme de dosimètres adaptés à divers champs de rayonnements et à des doses variables.

Au cours de l'année 2004, l'IRSN a assuré la surveillance d'environ 150 000 travailleurs dans 18 000 établissements. Les dosimètres utilisés à cet effet se répartissent de la façon suivante :

- 1 600 000 dosimètres photographiques ;
- 61 000 dosimètres thermoluminescents ;
- 53 000 dosimètres par détection de traces.

Suivi de la contamination interne des travailleurs exposés

L'évaluation de l'exposition des travailleurs sujets à un risque de contamination interne repose sur la détermination de l'activité incorporée dans l'organisme. Deux types d'analyses sont utilisés : la mesure de l'activité incorporée par anthroporadiamétrie et celle de l'activité excrétée à partir d'analyses radiotoxiques d'urines et de selles. Au cours de l'année 2004, l'IRSN :

- a réalisé 131 examens anthroporadiométriques ;
- et pour ce qui concerne les analyses radiotoxiques :
 - 3 889 personnes ont été suivies ;
 - 7 790 échantillons biologiques ont été traités (urines, selles, cheveux, ongles, sang) ;
 - 21 089 analyses ont été réalisées ;
 - 64 radionucléides différents ont été mesurés lors des analyses.

Qualification des installations de mesure

L'IRSN a été saisi à plusieurs reprises en 2004 pour intervenir sur des installations de mesure anthroporadiométrique : centrale de Civaux (Vienne), centres CEA de Valduc (Côte-d'Or) et de Grenoble (Isère), afin de vérifier la qualité des étalonnages de ces installations.

Étude de postes de travail auprès de convois SNCF transportant des matières radioactives

La réglementation du transport de marchandises dangereuses par voie ferrée demande à l'exploitant



Homologation des équipements de protection par les centres techniques.

d'avoir un Programme de protection radiologique pour le transport de matières radioactives. Dans ce contexte, la SNCF a signé un contrat avec l'IRSN pour la réalisation de campagnes de mesures des

doses aux postes de travail pour les neuf types de matières radioactives transportées. Au cours de l'année 2004, l'IRSN a caractérisé quatre types de convois. Les cinq autres types seront étudiés en 2005.

Conformité des matériels et équipements

Au sein de l'IRSN, deux centres techniques sont chargés d'apprécier la conformité de matériels ou d'équipements à l'égard de normes (ou tout autre référentiel préalablement défini). Ces centres peuvent intervenir à la demande d'exploitants, de fabricants ou d'autorités, dans le cadre de programmes de mise au point de matériels ou de procédés, ou pour satisfaire à des exigences réglementaires.

Ils participent, dans leurs domaines de compétence, à l'élaboration de textes réglementaires et normatifs, français et internationaux.

Les activités du Centre technique d'homologation de l'instrumentation de radioprotection (CTHIR) de l'IRSN concernent la dosimétrie individuelle, la dosimétrie d'ambiance ou d'environnement, la mesure de la contamination (eau, air, surfaces) et la détection des accidents de criticité.

En 2004, le CTHIR a participé à des groupes de travail de normalisation dans le cadre de la sous-commission SC45B chargée de l'instrumentation de radioprotection au sein de la CEI. L'année 2004 a vu notamment la publication de la norme CEI 62022 concernant les dispositifs de détection

de sources de rayonnements γ transportés dans des véhicules, dont le CTHIR a été chef de projet. Le CTHIR fait également partie de la délégation française chargée, au niveau du CENELEC (normes européennes), de la transcription des normes CEI en normes européennes.

Après analyse des résultats d'essais et des dossiers techniques, le CTHIR s'est prononcé sur la conformité aux normes pertinentes d'un dosimètre opérationnel et d'un ensemble de détection d'accidents de criticité. Il a procédé à l'étalonnage de 17 sondes associées à ce type de système, démarche entreprise avant leur première mise en service ou en retour pour maintenance.

Les examens de conformité de matériels de radioprotection sont réalisés conformément au système de management de la qualité du CTHIR, certifié ISO 9001 version 2000 depuis fin 2002.

Le CTHIR assure l'exploitation de l'irradiateur IRMA (Saclay, Essonne). Cette installation permet la réalisation d'irradiations de matériels ou de matériaux dans le cadre d'études sur leur tenue au rayonnement (débit de dose pouvant aller jusqu'à 20 kGy/h). Les campagnes réalisées en 2004 représentent un total de 28 semaines, essentiellement pour le compte d'unités de recherche



Dosimètre opérationnel.

et de fabricants de détecteurs de rayonnements. Les compétences du Centre technique d'homologation des équipements nucléaires (CTHEN) de l'IRSN portent sur l'homologation d'équipements de sûreté utilisés dans l'industrie nucléaire (principalement des filtres à très haute efficacité et des clapets coupe-feu) et sur la certification d'équipements de protection individuelle. Le CTHEN est notifié par le ministère chargé du Travail pour procéder à des examens de type CE

sur des vêtements et des gants de protection contre les rayonnements ionisants ou contre la contamination radioactive. Ses missions sont régies par une convention signée le 23 août 2004 entre l'IRSN et le ministère. Deux types de vêtements ventilés ont été certifiés « CE » en 2004 et 118 « extensions » d'attestations ont été délivrées (procédure engagée lors de la modification d'un équipement préalablement certifié ou du dossier technique associé).

FOCUS

TIERCES EXPERTISES NON NUCLÉAIRES

Les compétences rassemblées dans le domaine de la sûreté nucléaire permettent à l'IRSN d'effectuer des analyses critiques d'études des dangers d'installations industrielles classées pour la protection de l'environnement, appartenant à différents secteurs d'activité (agroalimentaire, chimie fine, pétrochimie, etc.).

Parmi la cinquantaine d'analyses critiques réalisées par l'IRSN en 2004, peuvent être citées celles relatives aux sites de Balan (Ain), de Carling (Moselle), de Saint-Fons (Rhône) et de La Chambre (Savoie) de la société ARKEMA, aux usines de distillerie d'alcool de Bazancourt (Marne) et de Bray-sur-Seine (Seine-et-Marne) de la société Cristal Union, à l'usine de fabrication d'engrais à base d'ammonitrate de Grandpuits (Seine-et-Marne) de la société Grande Paroisse, aux sites de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône), de Tavaux (Jura), de Richemont (Moselle) et de Grand-Synthe (Nord) de la société SOGIF-Air Liquide. Pour réaliser ces analyses, l'IRSN s'appuie en particulier sur ses compétences dans les domaines suivants : incendie, explosion,



L'équipe du bureau d'analyse de sûreté des installations non nucléaires.

dispersion atmosphérique, contrôle commande, fiabilité des composants, facteurs humains, sismologie, inondation, etc. L'Institut participe également à différents groupes de travail mis en place par le ministère de l'Écologie et du Développement durable : plans de prévention des risques technologiques, valeurs toxicologiques de référence, groupe des organismes tiers experts, auxquels s'ajoutent plusieurs groupes de travail sectoriels (chlore, GPL, ammoniac, liquides inflammables, etc.). Enfin, l'IRSN apporte un support technique à l'administration, à l'occasion d'échanges au niveau européen sur les meilleures technologies disponibles en matière de prévention des risques.



Contrôle d'un filtre à l'aide d'un radiamètre.

Prestations non liées à des exigences réglementaires

Étude relative à la présence de radionucléides dans le réseau des eaux usées de l'agglomération toulousaine

L'IRSN a réalisé en 2004 une étude, à la demande de la Compagnie générale des eaux de Toulouse (Haute-Garonne), concernant l'origine de la radioactivité présente à faible niveau dans le réseau d'assainissement de l'agglomération toulousaine.



Une sonde Télhydro portable a été développée pour pouvoir effectuer des mesures en des points précis des cours d'eau.

Cette étude concernait plus précisément la présence de radionucléides dans les rejets des centres hospitaliers utilisant des sources non scellées à des fins de diagnostic ou de radiothérapie. Ainsi, compte tenu de sa période d'environ huit jours, l'iode 131 utilisé se retrouve dans les eaux usées, les boues et les résidus d'incinération des centres de traitement des eaux. La présence de ce radionucléide peut entraîner un refus de prise en charge de ces résidus par les centres d'enfouissement technique. L'étude a comporté quatre volets successifs : vérification, au moyen d'une sonde Télhydro portable, de la provenance des radionucléides, détermination de l'origine (urine ou selles) de cette radioactivité, étude de la dilution dans le réseau d'assainissement et mesure du débit de dose en différents points de la station d'épuration. Une présentation des résultats a été faite en décembre 2004 et le rapport de l'étude remis au client en février 2005.



Le suivi radiologique des centrales nucléaires consiste en des prélèvements dans tous les milieux de l'environnement.

Prestations en radioprotection opérationnelle

Les prestations de l'IRSN en radioprotection opérationnelle peuvent concerner toutes les entités, essentiellement en France, mais aussi à l'étranger, qui détiennent ou utilisent des sources de rayonnements ionisants.

Les prestations correspondent à des activités de conseil et d'étude (sources scellées ou non scellées, sites pollués), de surveillance d'équipements ou

d'installations (contrôles réglementaires de radioprotection, contrôles d'efficacité des filtres THE et des pièges à iode) et d'intervention (mise en sécurité de sources, dépistage et mesures de radon), notamment en situation anormale. En 2004, l'Institut a ainsi réalisé environ 150 prestations, tous types confondus. Parmi les clients de l'IRSN on peut citer les industriels du nucléaire (EDF, COGEMA, DCN), mais aussi des organismes publics ou privés.

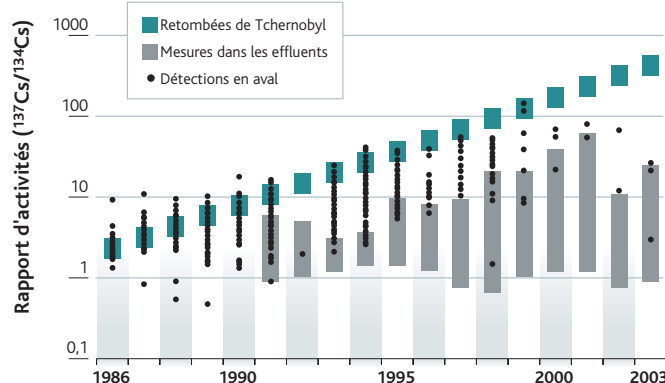
Prestations en radioécologie

L'IRSN effectue des prestations de mesures et d'études dans le domaine de la radioécologie, à la demande des industriels ou des pouvoirs publics.

Suivi radioécologique des centrales nucléaires

Chaque année depuis 1991, l'IRSN réalise à la demande d'EDF un suivi radioécologique des sites électronucléaires français. Il s'agit d'identifier et de caractériser le marquage dû aux rejets d'effluents de ces centrales par rapport aux autres apports exogènes de radioactivité : essais nucléaires atmosphériques des années 1960 à 1980, accident de Tchernobyl, rejets hospitaliers.

Cette étude annuelle se concrétise par le prélèvement et le traitement de 600 à 700 échantillons dans les milieux terrestre, aquatique, continental et marin. L'IRSN a développé les outils et le savoir-faire nécessaires en matière de prélèvement, de traitement et d'analyse d'échantillons, et en matière



Rapports d'activité $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ mesurés dans les échantillons aquatiques continentaux prélevés à l'aval des C.N.P.E., dans les effluents des C.N.P.E. et les retombées de l'accident de Tchernobyl.

d'interprétation des résultats afin de tenir compte des très faibles niveaux d'activité à mesurer. Ces séries chronologiques complètent celles fournies par le réseau OPERA de l'IRSN, et permettent d'actualiser annuellement les référentiels environnementaux



Centrale nucléaire du Tricastin (Drôme).

des zones proches des centrales nucléaires, qu'elles soient ou non sous l'influence des rejets. La convention de prestation avec EDF couvre aussi des études appliquées, notamment sur le comportement du carbone 14, du tritium et de l'iode 129 dans l'environnement. Cette convention a été renouvelée pour les années 2005-2007.

Études autour du site de COGEMA la Hague

Le contrat de prestations en radioécologie qui lie depuis plusieurs années l'IRSN et la COGEMA s'est prolongé pour traiter deux sujets liés à l'usine

de traitement des combustibles irradiés de la Hague (Manche). Ainsi, en 2004, une première étude a consisté à valider le code de calcul DISPRO, qui permet de prévoir la dispersion des rejets de radionucléides en Manche à partir de l'usine de la Hague ; elle a nécessité la réalisation de campagnes de mesures en mer, au large des côtes du Nord-Cotentin. La seconde étude a concerné les distributions granulométriques des aérosols rejetés par la cheminée de l'usine UP2-800. Elle a montré que les aérosols rejetés étaient répandus dans l'environnement sous forme liquide, et vraisemblablement constitués d'éléments organiques.

Mode opératoire de mesure du radon

Dans le cadre de sa politique "qualité", Gaz de France détermine régulièrement la composition du gaz qu'il distribue. Un mode opératoire de mesure du radon dans le gaz naturel a été déterminé par

l'IRSN. La mesure présente des spécificités techniques qui ont nécessité la formation du personnel de Gaz de France par l'IRSN.

Prestation en dispersion des polluants

L'IRSN réalise des prestations contractuelles concernant la ventilation des installations et la dispersion des polluants, radioactifs ou non (polluants malodorants, par exemple), dans les domaines nucléaire et non nucléaire.

Parmi ces prestations figurent des études sur le comportement des réseaux de ventilation d'une installation, en situation normale ou accidentelle. Elles reposent sur l'utilisation de codes de calcul développés par l'Institut (SIMEVENT ou FLAMME_S/ SIMEVENT lorsque la situation accidentelle

étudiée est celle d'un incendie survenant dans un local ventilé).

Travaux de modélisation et d'étude

La modélisation utilisée dans le code SIMEVENT repose sur une analogie électrique, le réseau de ventilation étant découpé en nœuds (pression, température et concentrations homogènes), reliés par des branches caractérisant le comportement de divers équipements (ventilateurs, conduites, filtres, clapets, régulateurs, etc.). Le code permet de simuler les écoulements aérauliques dans le réseau en régime permanent ou transitoire (calcul



Sphères de stockage de GPL.

des valeurs de la pression aux nœuds et des valeurs du débit dans les branches). Il traite également du transport et de la rétention des espèces gazeuses et particulaires, ainsi que du colmatage des filtres par les aérosols. Les principales données d'entrée sont les valeurs de la résistance aéraulique des divers équipements résistants (calculées à partir des valeurs de pression et de débit mesurées dans un état donné de l'installation), ainsi que les courbes de fonctionnement des différents ventilateurs. La réalisation d'une étude avec le code SIMEVENT commence par la modélisation d'un état de référence du réseau de ventilation, à partir d'une étude sur plans et sur site, et de résultats de mesures généralement communiqués par l'industriel. Par la suite peuvent être calculés le comportement du réseau de ventilation, après des modifications de

l'installation par exemple, ou bien les conséquences de situations dégradées ou accidentelles sur le confinement dans l'installation. Ces calculs sont

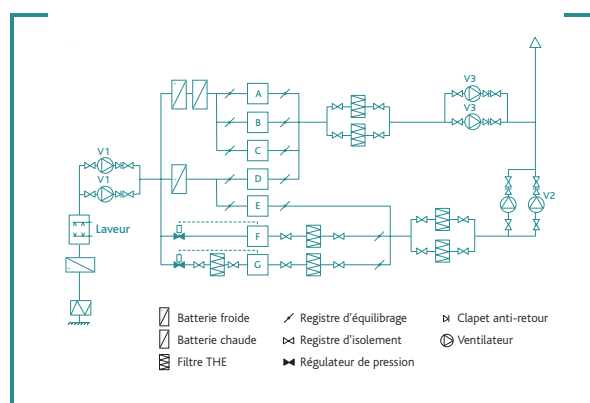


Schéma de ventilation.

FOCUS

ÉTUDES PROBABILISTES DE SÛRETÉ APPLIQUÉES À DES SITES INDUSTRIELS

Compte tenu de l'expérience acquise par l'Institut pour les réacteurs à eau sous pression, le ministère de l'Écologie et du Développement durable a confié à l'IRSN un projet pilote de développement d'une étude probabiliste de sûreté (EPS) pour une installation industrielle de type Seveso.

L'objectif de ce projet est de mieux cerner la contribution qu'une étude probabiliste pourrait apporter à la réflexion sur la sûreté des installations industrielles.

Le site retenu est le centre emplisseur d'Herrlisheim (Alsace), exploité par la société Rhône Gaz, qui s'est portée volontaire pour ce projet. L'établissement choisi a pour vocation de recevoir, de stocker, de conditionner et d'expédier des gaz de pétrole liquéfiés (GPL).

L'étude consiste à identifier les diverses séquences accidentelles pouvant conduire à un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) et à évaluer les probabilités de ces séquences. Les scénarios examinés correspondent à la création puis à l'allumage d'une fuite de gaz qui conduirait à un feu agressant à court ou moyen terme, soit l'une des sphères de stockage, soit un camion-citerne ou un wagon-citerne.

Après avoir défini une démarche d'étude adaptée à l'installation, l'IRSN a poursuivi en 2004 la modélisation pour un cas représentatif d'événement initiateur menant au BLEVE (fuite d'une tuyauterie de GPL). La méthode retenue, dérivée de celle utilisée pour les EPS réalisées par l'IRSN pour les centrales électronucléaires, a été validée puis généralisée à l'ensemble des événements initiateurs. Le rapport final sera transmis en 2005.



Tableau de commande de la salle d'irradiation pour études de radiobiologie ou dosimétrie forte dose.

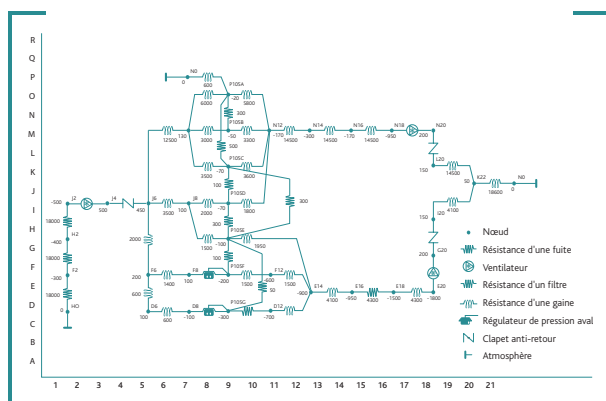


Schéma SIMEVENT.

effectués sur la base de scénarios et d'hypothèses décrits précisément par l'industriel dans son cahier des charges. Enfin, certaines études visent à procéder

à l'équilibrage de ventilation d'une installation, en calculant la position des registres d'équilibrage permettant d'obtenir les valeurs de pression souhaitées dans les locaux.

Le nombre des demandes de prestations est en augmentation. Ainsi, en 2004, cinq installations importantes du CEA ont été étudiées. Ce type de prestation est d'un grand intérêt pour l'IRSN, car il permet d'obtenir un retour d'expérience fructueux sur l'application des codes de calcul qu'il a développés à des cas concrets. Il est important de souligner que ces prestations ne constituent pas une démonstration de sûreté et que les résultats obtenus dans un tel cadre ne préjugent en rien des conclusions de l'IRSN lors de l'expertise d'un dossier de sûreté utilisant ces résultats, à la demande d'une autorité de sûreté.

Prestations en dosimétrie

L'IRSN possède des installations accréditées COFRAC qui fournissent des rayonnements de référence pour les photons et les neutrons. Elles permettent de réaliser des prestations dans le domaine de la métrologie :

qualification et étalonnage de dosimètres et d'appareils de mesure utilisés en radioprotection. Par ailleurs, l'IRSN effectue la caractérisation d'installations diverses, c'est-à-dire la détermination des débits de dose et des spectres d'énergie des rayonnements ionisants présents dans les installations étudiées. Enfin, l'IRSN est sollicité pour l'évaluation par dosimétrie biologique des doses reçues en cas de suspicion d'irradiation. Quel que

soit le domaine, les demandes de prestations peuvent être nationales ou provenir de l'étranger.

Caractérisation de champs de rayonnements au sein d'installations

L'installation CALIBAN

En 2004, l'IRSN a réalisé, à la demande du centre CEA de Valduc (Côte-d'Or), une campagne de mesures auprès du réacteur CALIBAN (CEA-Valduc), qui permet de produire des impulsions intenses de neutrons et de rayonnements gamma de fission. L'étude a consisté à caractériser le faisceau de rayonnement mixte neutrons-gamma issu du réacteur.

Le centre de protonthérapie

Au centre de protonthérapie d'Orsay (Essonne)



Mesure à l'aide d'un compteur proportionnel équivalent tissu auprès de la ligne de faisceau de protons du CPO.

sont réalisés des traitements de tumeurs ophtalmiques et intracrâniennes à l'aide de faisceaux de protons. Un rayonnement secondaire, principalement constitué de neutrons de haute énergie, est produit simultanément et conduit à des expositions additionnelles en dehors du faisceau, durant le traitement. Afin d'évaluer ces expositions pour les patients et les doses délivrées aux différents systèmes électroniques, l'IRSN a réalisé en 2004 une cartographie des débits de doses dans la salle de traitement.

Réacteur de Krsko

En octobre 2004, l'IRSN a effectué des mesures neutroniques auprès de la centrale nucléaire de Krsko (Slovénie) à la demande de l'exploitant. Pour les endroits fortement irradiants, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un ensemble de sphères de Bonner.

Réacteur du sous-marin nucléaire *Le Vigilant*

La société Technicatome possède un système multisphère quasiment identique à celui de l'IRSN pour la spectrométrie des neutrons. Des mesures ont été réalisées en 2004 avec ce système auprès des sources de référence ISO de l'IRSN, puis dans l'environnement de la chaufferie du sous-marin nucléaire *Le Vigilant* afin de vérifier si les fonctions de réponse en fluence des sphères du système de l'IRSN étaient transférables au système de Technicatome.

Activité de métrologie

En 2004, le laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants de l'IRSN, accrédité COFRAC pour les faisceaux de photons de référence, a délivré 53 certificats d'étalonnage, 9 pour

l'IRSN, et 44 pour des clients extérieurs. Il a de plus fourni deux rapports d'essai dans le cadre de l'homologation d'instruments de dosimétrie. Par ailleurs, pour répondre à la demande de certains constructeurs, sept semaines ont été consacrées à la mise au point de dosimètres à l'aide de faisceaux étalonnés.

En 2004, le laboratoire de métrologie et de dosimétrie des neutrons de l'IRSN, accrédité COFRAC pour les rayonnements neutroniques de référence, a délivré 11 certificats d'étalonnage. De plus, l'IRSN est impliqué dans le projet européen EVIDOS, qui vise à comparer les réponses des dosimètres individuels, actifs ou passifs, exposés dans des champs mixtes neutrons-photons représentatifs de ceux rencontrés dans l'industrie nucléaire. L'IRSN a la responsabilité de fournir les spectres en énergie des neutrons ainsi que des grandeurs de référence (équivalents de dose $H_p(0,07)$ et $H_p(10)$).

Conformément aux dispositions de la réglementation, l'IRSN a organisé fin 2004 une intercomparaison de dosimètres fournis par les organismes qui ont formulé une demande d'agrément pour l'évaluation de l'exposition externe à l'aide de dosimètres individuels passifs (516 dosimètres concernés). L'IRSN, à titre de laboratoire de référence, a également participé à une intercomparaison de dosimètres passifs organisée par l'AIEA.

Bilan de l'activité en dosimétrie biologique

L'estimation par dosimétrie biologique des doses reçues en cas de suspicion d'irradiation ou d'irradiation avérée est fondée sur l'observation des aberrations chromosomiques instables dicentriques formées dans les lymphocytes des



Développement des dosimètres passifs.

personnes concernées. Depuis 1992, le laboratoire de dosimétrie biologique de l'IRSN, seul laboratoire reconnu au niveau national pour ce type d'expertise, a effectué plus de 200 estimations de doses individuelles, dont 15 en 2004.

Parmi les expertises de 2004, dans quatre cas, les personnes avaient été exposées plusieurs dizaines d'années auparavant pour des raisons diverses, et notamment la présence en des lieux présentant une forte radioactivité. En raison de pathologies spécifiques, ces personnes ont été amenées à consulter un médecin, qui a recherché un lien entre leurs pathologies et une éventuelle exposition aux rayonnements ionisants. Dans trois des quatre cas, le nombre d'aberrations chromosomiques observées a été supérieur à celui de la population non exposée prise comme référence. Ces résultats laissent à penser que ces personnes ont été effectivement exposées à des substances, radio-

actives ou non, pouvant conduire à des aberrations chromosomiques.

Dans quatre autres cas, l'IRSN a été sollicité pour des personnes dont les dosimètres indiquaient une exposition sans que les circonstances de cette exposition soient claires. Pour confirmer les doses reçues, seule une dosimétrie effectuée sur les individus eux-mêmes peut alors permettre de lever le doute : deux personnes avaient une dose biologique positive à la limite de la signification statistique et deux n'avaient pas une dose biologique différente de zéro.

Il a été aussi demandé à l'IRSN une expertise de dosimétrie biologique pour trois personnes travaillant dans un chantier de démolition d'une ancienne clinique, qui auraient pu être en contact avec des aiguilles de radium. En fait, aucune personne n'avait été exposée de façon significative.





Lecture et interprétation des films.



Radiologie conventionnelle à l'hôpital Cochin à Paris.

Évaluation de la **dose reçue par le fœtus** lors d'un examen pour diagnostic chez une femme enceinte

L'IRSN est régulièrement sollicité pour des évaluations dosimétriques pour des femmes enceintes ayant subi des examens radiologiques.

Lorsqu'une exposition aux rayonnements ionisants est envisagée pour une femme en âge de procréer, le médecin demandeur et le médecin réalisateur de l'acte doivent rechercher s'il existe un état de

grossesse. Si la grossesse est confirmée ou si l'éventualité d'une grossesse ne peut pas être exclue, une attention particulière doit être accordée à la justification de l'acte. Celle-ci doit tenir compte de l'urgence, de l'exposition de la femme et de celle de l'enfant à naître. Il survient néanmoins chaque année un certain nombre d'expositions accidentelles de femmes enceintes. Aussi, il n'est pas rare que des physiiciens médicaux soient contactés pour

FOCUS

CONSEIL ET ASSISTANCE AUX PROFESSIONNELS DE SANTÉ

L'unité d'expertise en radioprotection médicale de l'IRSN a diffusé en 2004 une plaquette à l'attention des professionnels de santé pour présenter les missions de l'Institut en radioprotection des patients et des travailleurs du domaine médical :

- recueil et mise à jour périodique des niveaux de référence diagnostiques ;
- assistance et conseil des professionnels de santé ;
- information des professionnels de santé et formation en radioprotection des divers acteurs du domaine médical ;
- réalisation d'études et d'expertises pour les professionnels de santé, les patients et, plus généralement, les personnes exposées aux rayonnements ionisants dans le domaine médical ;
- appui technique aux autorités et organismes nationaux concernés par la radioprotection des personnels médicaux et des patients ;
- contribution à la connaissance des pratiques médicales pouvant entraîner une exposition aux rayonnements ionisants, grâce à un observatoire créé en collaboration avec l'InVS.

Ces missions concernent environ 18 000 professionnels, 130 000 travailleurs et de très nombreux patients, pour un parc d'environ 50 000 installations, allant de l'appareil de radiographie dentaire à l'accélérateur linéaire de 30 MV. La plaquette a été diffusée lors des Journées françaises de radiologie (5 000 à 6 000 participants) et des Journées des personnes compétentes en radioprotection (près de 500 participants). Ces manifestations ont permis d'aller à la rencontre de professionnels demandeurs de conseils et d'assistance pour mettre en œuvre le décret 2003-270 du 24 mars 2003 et ses arrêtés d'application.





Pupitre de commande du service de radiologie interventionnelle à l'hôpital Cochin à Paris.

évaluer la dose reçue par le fœtus. Les demandes concernent quasi exclusivement la radiologie conventionnelle et la scanographie, le fœtus étant, ou non, présent dans le volume exploré.

En 2004, 51 patientes enceintes ayant subi un ou plusieurs examens radiologiques ont fait l'objet d'une évaluation dosimétrique réalisée par l'IRSN. Les examens se répartissaient entre la radiologie conventionnelle (38) et la scanographie (23). La reconstitution de la dose reçue par le fœtus s'appuie dans la mesure du possible sur les caractéristiques propres à l'examen. À cette fin,

des fiches à remplir par les radiologues ont été créées pour la scanographie, la radiologie conventionnelle, la radiologie vasculaire et la radiologie interventionnelle. Ces fiches reprennent l'ensemble des paramètres nécessaires à une reconstitution de doses précises (type d'installation, détecteur utilisé, haute tension, temps d'exposition, charge, index de dose de la radiologie conventionnelle et de la scanographie, etc.). Compte tenu

des évolutions technologiques, et notamment de la complexité des dispositifs médicaux, les informations sont transmises avec plus ou moins de détails et de précisions par les demandeurs. Il en résulte que les valeurs de dose pour le fœtus sont évaluées soit sur la base de données propres à des procédures radiologiques types (dans les cas où il y a peu d'informations connues), soit au moyen de logiciels de simulation où sont introduits les paramètres exacts de l'examen.

Pour les évaluations effectuées en 2004, les doses estimées vont de moins de quelques micrograys (μGy), lorsque le fœtus est dans le rayonnement diffusé (13 cas), à 55 milligrays (mGy), lorsque le fœtus est dans le volume exploré en scanographie. Pour 14 cas (27,5 %), la dose est inférieure à 1 mGy ; pour 20 cas (39,2 %), la dose est comprise entre 1 et 10 mGy ; pour 12 cas (23,5 %), elle est comprise entre 10 et 30 mGy ; pour 5 cas (10 %), elle est comprise entre 30 et 55 mGy . Par rapport aux recommandations internationales, et notamment celles de la publication 84 de la CIPR, ces doses sont inférieures à la valeur de 100 mGy en dessous de laquelle aucun effet n'a été démontré quel que soit le nombre de semaines de gestation.



Console d'interprétation scanner.



Le site de Rovno en Ukraine.

Collaborations avec les pays de l'Europe de l'Est

Depuis le début des années quatre-vingt-dix, la communauté internationale a développé une collaboration importante avec les pays d'Europe de l'Est, pour améliorer le niveau de sûreté de leurs installations nucléaires et renforcer les régimes réglementaires qu'ils ont mis en place.

La sûreté nucléaire dans les pays d'Europe de l'Est est un sujet majeur de l'action internationale de l'IRSN. La coopération menée dans ce domaine, en partenariat avec la GRS et en collaboration étroite avec les autres organismes techniques de sûreté européens, et ceux des pays concernés, se traduit notamment par le développement de cadres réglementaires, le transfert de codes de calcul et

FOCUS

ASSISTANCE AUX PAYS D'EUROPE DE L'EST

L'IRSN a pris part en 2004 à une trentaine de projets d'assistance aux pays d'Europe de l'Est pour l'amélioration de la sûreté de leurs installations nucléaires. L'Institut a notamment participé à des revues de sûreté relatives à des réacteurs RBMK en Lituanie et en Russie, et à des réacteurs VVER en Ukraine.

En Lituanie, l'IRSN a poursuivi en 2004 sa participation à la revue de sûreté du nouveau système d'arrêt d'urgence du réacteur 2 de la centrale d'Ignalina, dont l'installation a été achevée pendant l'été 2004. Cette revue est réalisée dans le cadre d'un projet européen d'appui à l'autorité de sûreté lituanienne (VATESI), géré par Riskaudit.

En Russie, la revue approfondie du rapport de sûreté du réacteur 1 de la centrale de Koursk, lancé en décembre 2001, a été achevée en mai 2004. Financé par le fonds de sûreté nucléaire (NSA) géré par la BERD, le projet, d'environ 1,5 million d'euros, a réuni une cinquantaine d'experts occidentaux issus d'une dizaine d'organismes de sûreté nucléaire émanant de sept pays : IRSN (France), GRS (Allemagne), SERCO Assurance et NNC (Royaume-Uni), ES Konsult (Suède), NRG (Pays-Bas), AECL (Canada), Scientech et PNNL (États-Unis), et une cinquantaine d'experts russes. Cette analyse de sûreté approfondie, pilotée par l'IRSN, est la première de ce genre menée en Russie pour un réacteur de type RBMK.

En Ukraine, les autorités ont décidé en 2003 de mettre en exploitation l'année suivante les deux réacteurs VVER-1000 implantés sur les sites de Khmel'nitsky et Rovno (K2-R4), dont la construction avait été interrompue durant les années quatre-vingt-dix. Dans le cadre d'un contrat européen signé par Riskaudit, filiale de l'IRSN, et de son homologue allemand GRS, les deux organismes ont remis en 2004 à l'autorité de sûreté ukrainienne (SNRCU) un avis sur l'état de sûreté de ces réacteurs, compte tenu des modernisations réalisées ou prévues. L'exploitant ukrainien a alors soumis à la SNRCU, pour autorisation, un projet d'amélioration des réacteurs tenant compte des recommandations formulées. Les réacteurs K2-R4 ont été mis en exploitation au cours du second semestre 2004. L'IRSN et ses partenaires continuent à apporter un appui technique à la SNRCU dans le cadre de l'instruction technique des demandes d'autorisation relative à la mise en œuvre des modernisations prévues après le démarrage des deux réacteurs.



RISKAUDIT

RISKAUDIT est un groupement européen d'intérêt économique (GEIE) créé en 1992 par l'IPSN et la GRS afin de coordonner des projets internationaux communs. Depuis sa création, RISKAUDIT a géré plus de cent projets associant ses deux maisons mères et d'autres organismes techniques de sûreté européens et américains, dans le cadre des programmes d'assistance aux pays d'Europe de l'Est en matière de sûreté nucléaire, financés par la Commission européenne et la BERD.

RISKAUDIT dispose d'un siège situé à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine) et de deux bureaux permanents à Moscou (Russie) et à Kiev (Ukraine).



Seconde édition du séminaire annuel sur la concertation autour des sites industriels à risque, 23 mars 2004 à Ville-d'Avray (France), qui a réuni une centaine d'acteurs de la société : experts, industriels, exploitants nucléaires, administrations, représentants associatifs et syndicaux, membres de Commissions Locales d'Information (CLI).

la formation à leur utilisation, ainsi que par la réalisation d'évaluations de sûreté.

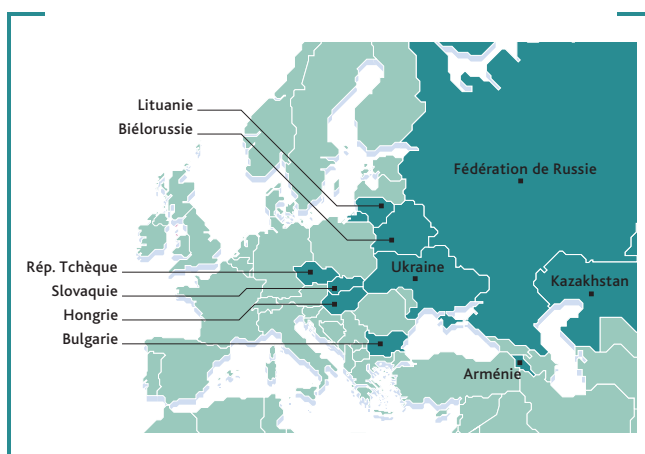
Les évaluations peuvent concerner, suivant l'état d'avancement des projets, la définition d'objectifs ou d'exigences de sûreté, la détermination de points faibles à corriger, l'évaluation de programmes d'amélioration, l'analyse et l'évaluation de solutions détaillées proposées par les exploitants.

Cette coopération est principalement réalisée dans le cadre de contrats gérés par Riskaudit, filiale de l'IRSN et de la GRS, et financés par la Commission européenne (programmes PHARE et TACIS) ou par la Banque européenne de reconstruction et de développement (BERD).

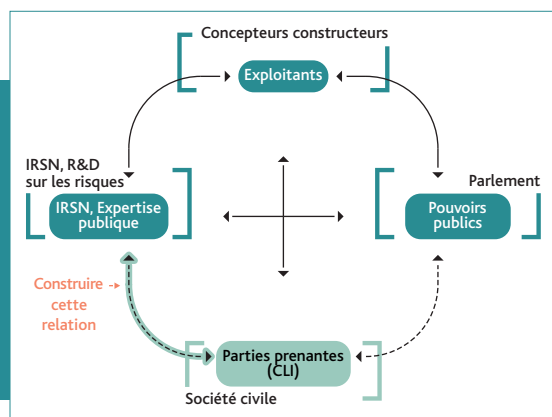
En 2004, l'IRSN a contribué à la réalisation d'une trentaine de projets principalement en Bulgarie, Lituanie, Russie et Ukraine.

La coopération dans cette région du monde connaît de nouveaux développements avec la mise en œuvre en Russie et prochainement en Ukraine du « Partenariat mondial de lutte contre la prolifération des armes de destruction massive et des matières connexes » adopté en 2002 par le G8. Dans ce

cadre, l'IRSN a participé en 2004 à la préparation de plusieurs projets en matière de sûreté nucléaire, de gestion des sources radioactives et de protection physique d'installations et de matières nucléaires.



Les activités de RISKAUDIT dans les pays d'Europe centrale et d'Europe de l'est.



La réforme de 2002 rassemble sûreté et radioprotection, sépare les fonctions de police technique de celles d'expertise et R&D, et de celles de l'exploitant.

Expertise et assistance au profit de la société civile

L'Institut a engagé une démarche d'implication des parties prenantes, cohérente avec l'orientation retenue par le gouvernement, d'une plus grande transparence dans le domaine de la gestion des risques nucléaires et radiologiques.

L'ouverture de l'expertise de l'IRSN à la société civile se traduit notamment par des actions pilotes pouvant conduire à la constitution de groupes d'expertise pluraliste, à l'image du GRNC, lorsqu'il s'agit de traiter de sujets complexes ou faisant l'objet de contestations. Cet engagement repose également sur la participation à des réseaux d'information, de valorisation et de retour d'expérience nationaux et internationaux, ainsi que sur la création de tels réseaux.

Afin de progresser dans cette démarche, l'Institut a organisé en mars 2004 le second séminaire sur la concertation autour des sites industriels à Ville-d'Avray (Hauts-de-Seine). Une centaine de participants (associations, experts, représentants de l'administration et des industries nucléaire et chimique) ont pu échanger à cette occasion dans la perspective d'un changement de gouvernance des activités industrielles.

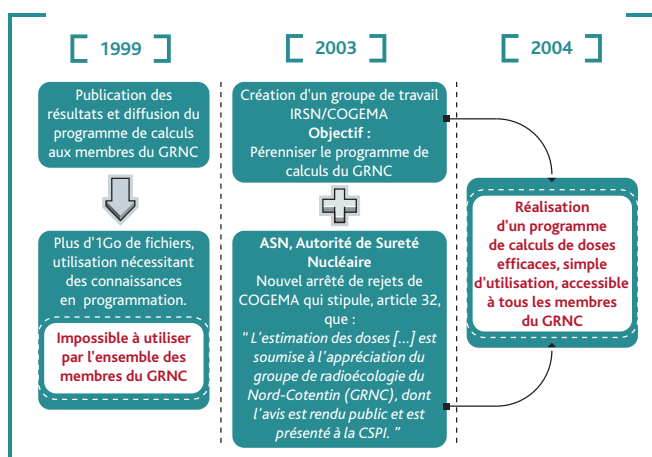
Par ailleurs, dans le cadre de leur protocole, l'IRSN et l'Association nationale des commissions locales d'information (ANCLI) ont organisé une rencontre, le 24 mars, afin de définir des actions concrètes communes. Les sujets concernent notamment la surveillance de l'environnement et le suivi des rejets. Une enquête auprès de trois CLI avait déjà

Acadie, un outil commun d'expertise

En 1997, les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé avaient confié à M^{me} Annie Sugier la mission de réunir un groupe pluraliste en vue d'évaluer les risques de leucémie pouvant résulter des expositions des populations du Nord-Cotentin aux rayonnements ionisants. L'étude réalisée par le GRNC (Groupe radioécologie Nord-Cotentin) a conduit à la conception d'un outil de calcul comprenant notamment une base de données des paramètres de transfert dans l'environnement. L'outil a évolué jusqu'à la définition, en juin 2004, du logiciel Acadie (Application pour le calcul de la dose efficace interne et externe), qui permet aux membres du GRNC – associations, experts étrangers, institutionnels, industriels, opérateurs, etc. – d'effectuer eux-mêmes les calculs des doses, conformément à leur souhait. Acadie est non seulement un outil commun de calcul des doses, mais également une mise en commun des données relatives à l'évaluation de l'impact radiologique.

permis de recenser leurs propres attentes dans ces domaines.

Enfin, à l'initiative de l'IRSN, une table ronde ayant pour thème la transparence a réuni des experts du débat public, des membres de CLI, des journalistes et des associations. Elle a permis de mettre en évidence des attentes fortes à l'égard de l'organisme d'expertise public qu'est l'IRSN.



Réalisation d'un outil d'évaluation de dose accessible aux parties prenantes.



1

exercice de crise
relatif à la sécurité
des installations

3

exercices de crise
relatifs à la sûreté
des installations
intéressant la défense

198

inspections
relatives au contrôle
de matières nucléaires

32

missions
d'accompagnement
des inspecteurs
internationaux pour
le contrôle des matières
nucléaires et sensibles

103

avis techniques
relatifs à la sûreté
des installations et
activités intéressant
la défense

9

réunions de
commissions de
sûreté et de groupes
restreints d'experts

54

participations
à des groupes
de travail, nationaux
et internationaux

Prise de vue aérienne du Porte-avions *Charles-de-Gaulle*.

Expertise nucléaire de défense

En application du décret relatif à l'IRSN en date du 22 février 2002, le directeur général adjoint chargé de la mise en œuvre des missions de l'Institut dans les domaines relevant de la défense, dispose d'une direction spécifique, la DEND, qui réalise des activités d'expertise, de contrôle, d'étude et de recherche relatives à :

- la protection et le contrôle des matières nucléaires et sensibles ;
- la protection des installations nucléaires et des transports de matières radioactives et fissiles contre les actions de malveillance ;
- la sûreté et la radioprotection des installations et activités intéressant la défense.

> 156 Évaluation de la sûreté des systèmes nucléaires militaires, des installations nucléaires de base et des transports intéressant la défense

> 159 Protection et contrôle des matières nucléaires et sensibles

> 164 Protection des installations contre les actions de malveillance

> 166 Gestion des situations d'urgence d'origine malveillante



Vue aérienne du site de Marcoule (Gard).

Évaluation de la sûreté des systèmes nucléaires militaires, des installations nucléaires de base et des transports intéressant la défense



APPUI TECHNIQUE
EN MATIÈRE DE RISQUE
NUCLÉAIRE ET
RADIOLOGIQUE



APPUI OPÉRATIONNEL
EN CAS DE CRISE OU DE
SITUATION D'URGENCE
RADIOLOGIQUE

L'IRSN a examiné en 2004 la sûreté des installations, des laboratoires et des usines intéressant la défense nationale, sur la base des dossiers transmis par les exploitants concernés et a rendu ses avis au DSND.

Activités relatives aux laboratoires et usines intéressant la défense

En 2004, l'IRSN a examiné la sûreté d'installations exploitées par la Direction des applications militaires du CEA (CEA/DAM) ou par la COGEMA. Ces deux exploitants assurent l'ensemble des opérations (production, stockage, traitement) nécessaires à l'approvisionnement des armes en matières nucléaires et à la fabrication du combustible des réacteurs de propulsion nucléaire. Ils sont également responsables de l'assainissement d'installations de production aujourd'hui arrêtées. Les risques présentés par ces installations sont très variés, en fonction des missions affectées à chaque installation. Différents spécialistes répartis dans les unités de l'IRSN ont participé aux expertises dans des domaines aussi divers que le génie civil ou la prévention des risques de criticité, d'incendie, d'exposition aux rayonnements ionisants et de dissémination de matières radioactives.

Pour l'établissement COGEMA de Marcoule (Gard) et les installations qui y sont implantées, l'Institut a transmis au DSND des avis relatifs notamment :

- à la mise en place d'un processus d'autorisations internes ;

- à la demande d'autorisation de rejets et de prélèvements d'eau ;

- à la révision de l'autorisation d'exploitation du centre de tri des déchets conventionnels ;

- à la réception et au traitement de déchets incinérables de différentes provenances.

L'Institut a également assuré un suivi des opérations effectuées dans le cadre de la poursuite de la mise à l'arrêt définitif de l'usine UP1. L'IRSN a transmis au DSND des avis relatifs :

- à l'assainissement de magasins ;

- à l'entreposage de déchets issus des opérations de mise à l'arrêt définitif ;

- aux risques associés à des opérations de découpe avec points chauds ;

- aux interventions sur un évaporateur de l'usine UP1 ;

- à la mise à jour des règles générales d'exploitation ;

- aux opérations d'assainissement de dissolvants. L'IRSN a assuré un suivi de l'établissement COGEMA de Pierrelatte (Drôme) et des installations qui y sont implantées. Dans ce cadre, l'IRSN a transmis des avis relatifs :

- à la mise en exploitation d'une ligne de fabrication au sein de l'usine de recyclage et d'élaboration (URE) ;

- aux inondations survenues dans la vallée du Rhône en décembre 2003 ;

- à la mise en exploitation de l'atelier de traitement et de récupération après la réalisation de travaux d'amélioration ;

- aux opérations de démantèlement des annexes des usines de diffusion gazeuse (UDG).



Le Vigilant, sous-marin nucléaire lanceur d'engins (SNLE).

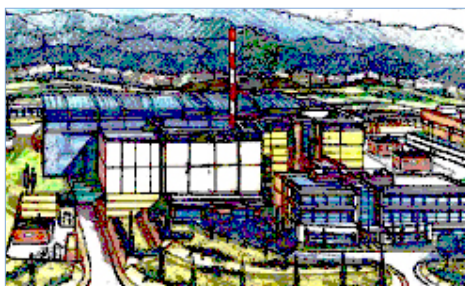
Activités relatives aux réacteurs de propulsion navale

En 2004, l'IRSN s'est prononcé sur les modifications prévues par la marine nationale concernant le bassin 8 du port militaire de Brest, en vue d'y renforcer les capacités d'accueil des SNLE de type *Le Triomphant*. L'Institut a également analysé le programme de surveillance radiologique établi en prévision de l'escale du *porte-avions Charles-de-Gaulle* au port du Havre.

L'IRSN a suivi en 2004 l'évolution de la conception de la future génération de sous-marins nucléaires d'attaque français (cf *Focus* p. 157) et a évalué les derniers dossiers de sûreté relatifs au SNLE *Le Vigilant*, ce qui a permis au DSND d'émettre un avis favorable à l'autorisation définitive d'exploitation.

L'IRSN a examiné en 2004 la sûreté du réacteur d'essai (RES). Cette installation, située dans le périmètre de l'installation nucléaire de base classée secrète (INBS) « Propulsion Nucléaire » du centre CEA de Cadarache (Bouches-du-Rhône), est destinée notamment à remplacer l'installation RNG actuellement en exploitation.

L'installation RES est composée d'une partie « piscine », et d'une partie « réacteur », en cours de construction. La partie « piscine », nécessaire à l'exploitation du réacteur, est déjà construite ;



Maquette de l'installation RES en construction à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

elle permettra d'entreposer des éléments combustibles et d'autres équipements des chaufferies de propulsion navale.

Fin 2003, le CEA a demandé une autorisation provisoire en vue d'exploiter la partie piscine de l'installation RES. Pour cela, il a transmis un rapport provisoire de sûreté et des règles générales d'exploitation. En 2004, l'IRSN a notamment examiné le comportement des ouvrages de génie civil sous les différentes agressions envisageables. Les évaluations ont en outre porté sur :

- les risques inhérents au chantier de la partie « réacteur » (chute d'une grue, etc.) ;
- les risques de criticité associés à l'entreposage de matières fissiles dans les différents canaux de la piscine ;

FOCUS

PROGRAMME BARRACUDA

Depuis l'année 2001, l'IRSN accompagne le contrôle exercé par le DSND sur le développement du programme BARRACUDA, future génération des sous-marins nucléaires d'attaque français.

Avant même l'examen du rapport préliminaire de sûreté prévu en 2005, l'IRSN s'est penché en 2004 sur plusieurs sujets importants pour la sûreté, tels que l'architecture des systèmes de sécurité ou les risques associés à la présence d'armes conventionnelles à bord du navire.

Les systèmes de sécurité sont prévus pour ramener et maintenir le réacteur nucléaire dans un état sûr en cas d'accident. À cet effet, l'IRSN vérifie que l'architecture de ces systèmes et la conception des équipements qui les composent pourront garantir une fiabilité à la hauteur des objectifs de sûreté assignés aux sous-marins de type BARRACUDA. Ces objectifs tiennent compte du fait que les sous-marins seront accueillis et entretenus dans des bases de la marine nationale situées dans des zones urbanisées.

Des modalités ont été proposées par la DGA et ont fait l'objet d'une évaluation transmise par l'IRSN au DSND.



Une réunion de travail des équipes de l'expertise nucléaire de défense.

- le risque de dénoyage des éléments combustibles ;
- les risques associés à une perte du confinement dynamique ;
- les risques d'incendie.

En outre, l'IRSN a examiné les dispositions retenues par l'exploitant en matière de radioprotection. L'exploitant a largement utilisé l'expérience acquise dans des installations d'entreposage similaires (piscines de stockage d'EDF, piscines des ports, etc.) pour optimiser les doses en exploitation.

La surveillance des opérations réalisées dans la partie « piscine » faisant appel à de nombreuses actions humaines, l'IRSN a examiné les dispositions prises par l'exploitant à l'égard des possibles erreurs humaines, principalement lors des manutentions (ergonomie des boîtiers de commande des ponts, formation des agents, organisation de l'exploitation, etc.).

Le rapport d'évaluation de l'IRSN a servi de support à une réunion de la Commission de sûreté des réacteurs, les 9 et 10 novembre 2004 à Cadarache.

Activités relatives aux sources radioactives

Dans le cadre de la mise en œuvre progressive de la nouvelle réglementation de radioprotection (décret n° 2001-592 du 5 juillet 2001), l'IRSN a répertorié en 2004 une dizaine d'installations qui relèvent désormais du DSND pour le contrôle de leurs sources radioactives. Ce nombre devrait prochainement augmenter suite au changement de réglementation et au transfert d'autorité qui en résulte, et ce pour les installations qui disposaient d'une autorisation délivrée par la CIREA avant 2002. Pour ces installations, l'IRSN assure le suivi des mouvements de source en délivrant les formulaires nécessaires et en consignait les mouvements dans l'inventaire national des sources radioactives.

Activités liées aux PUI

L'IRSN a transmis en 2004 des avis techniques concernant les Plans d'Urgence Interne (PUI) d'établissements classés. Il a ainsi procédé :

- à l'examen du PUI et des situations accidentelles couvertes par le PUI de l'établissement COGEMA de Pierrelatte ;

- à l'examen du PUI de l'INBS dénommée « Bassin 8 » du port militaire de Brest (Finistère).

De plus, l'IRSN a analysé l'évolution de la stabilité géomécanique des atolls de Mururoa et de Fangataufa. Cette expertise a porté plus particulièrement sur les mécanismes à l'origine des instabilités historiquement observées sur ces atolls, sur la pertinence du système de surveillance installé ainsi que sur l'évolution des mouvements rocheux.

Exercices de crise mettant en jeu des INBS et des SNM

L'IRSN a participé en 2004 à trois exercices nationaux de crise « Défense ». Outre l'exercice majeur de l'année qui s'est déroulé en novembre sur le site COGEMA de Pierrelatte (*cf Focus p. 133*), deux exercices ont concerné respectivement la base aérienne de Mont-de-Marsan (Landes) et la base navale de Toulon (Var) :

- le premier simulait l'implication d'une arme dans un incendie. Il a permis de tester les relations entre les cellules techniques de l'IRSN et celles de l'armée de l'air ;

- le second concernait un sous-marin nucléaire d'attaque (SNA). Cet exercice avait fait l'objet de travaux préparatoires d'adaptation de l'organisation du CTC et du développement d'une documentation spécifique. Ces travaux sont effectués en étroite collaboration avec l'état-major de la marine nationale.



Détermination de la composition isotopique du plutonium.

Protection et contrôle des matières nucléaires et sensibles

La protection et le contrôle des matières nucléaires et sensibles comportent plusieurs volets : la protection physique, le suivi et la compatibilité des matières nucléaires, le suivi des transports et l'application des contrôles internationaux de non-prolifération des armes chimiques et nucléaires.

Protection physique des matières nucléaires

La protection physique des matières nucléaires est assurée par un ensemble de dispositions matérielles et organisationnelles conçues pour assurer une défense en profondeur adéquate au risque de vol ou de détournement de ces matières. Ces dispositions comprennent des éléments retardateurs, des éléments détecteurs, des systèmes de contrôle d'accès et des moyens d'intervention.

Les pouvoirs publics, sous la responsabilité du ministère de l'Industrie (HFD), définissent les objectifs visés en matière de protection physique et vérifient que les dispositions prises par les exploitants nucléaires et les détenteurs de matières nucléaires permettent de respecter ces objectifs. L'IRSN apporte son expertise technique aux pouvoirs publics pour apprécier l'efficacité des mesures de protection physique adoptées ou proposées par les exploitants et détenteurs.

À ce titre, l'expertise de l'IRSN porte plus précisément sur :

- la capacité de résistance des installations ou des équipements à l'égard du vol ou du détournement de matières ;
- la pertinence des procédures d'accès aux matières

nucléaires ainsi que de sortie de ces matières de leur confinement ou des établissements détenteurs ;

- la capacité des systèmes à détecter la perte ou le vol de matières nucléaires.

L'IRSN a réalisé en 2004 environ 80 analyses de dossiers transmis par des exploitants et détenteurs de matières nucléaires.

Par ailleurs, des personnels de l'IRSN effectuent pour le compte du HFD des inspections dans les installations détenant des matières nucléaires. Ces inspections ont pour but de vérifier in situ la mise en place et le caractère opérationnel des dispositions de protection et de contrôle des matières nucléaires ainsi que de protection contre la malveillance (application respectivement des articles L.1333 et L.1332 du Code de la défense). Une cinquantaine d'inspections ont été réalisées en 2004. Certaines ont conduit l'Institut à effectuer des mesures *in situ* de caractéristiques physiques de dispositifs de protection.

Au plan international, l'Institut a notamment piloté en 2004 une mission IPPAS (International Physical Protection Advisory Service) organisée par l'AIEA en Iran. L'IRSN a également participé, en tant que formateur, à des cours internationaux relatifs aux menaces de référence en Iran et à la protection physique des réacteurs de recherche en République d'Afrique du Sud.

L'IRSN a en outre développé, en coopération avec le département de l'Énergie des États-Unis (US DOE), une méthode d'évaluation et une formation concernant la menace interne. L'objectif de cette action est de proposer à l'AIEA que cette méthode serve de base à une publication dans les documents de type « Tecdoc » avec la formation associée.



APPUI TECHNIQUE
EN MATIÈRE DE RISQUE
NUCLÉAIRE ET
RADIOLOGIQUE



Marquage des colis de matière nucléaire.

Suivi et comptabilité des matières

L'IRSN effectue, à la demande du HFD, l'examen des dispositions prises par les exploitants en matière de suivi et de comptabilité des matières nucléaires détenues dans les installations. Il propose les actions correctives qui lui paraissent nécessaires, notamment pour ce qui concerne le risque de vol, de perte ou de détournement de telles matières. L'IRSN s'assure ensuite que les demandes du HFD sont bien prises en compte par les exploitants et lui en rend compte.

À ce titre, l'Institut analyse les rapports exigés par la réglementation et effectue des visites techniques d'installations.

Il examine notamment les mesures que les exploitants mettent en œuvre afin de :

- connaître de façon précise, en quantité et en qualité, toutes les entrées et sorties de matières nucléaires des installations ;
- assurer leur suivi, c'est-à-dire connaître en permanence leur localisation, leur usage et les opérations (mouvements, transformations, etc.) qu'elles subissent ;
- vérifier que le stock réel des matières détenues est conforme à la comptabilité qu'ils ont l'obligation de tenir à jour.

Dans ce cadre, l'IRSN a réalisé au cours de l'année 2004 environ 140 analyses de dossiers transmis

FOCUS

IMPACT DU NOUVEAU RÈGLEMENT EURATOM SUR LE CONTRÔLE NATIONAL

L'IRSN est chargé de faire évoluer les règles de déclaration comptable concernant les matières nucléaires en fonction des demandes des autorités et des industriels, afin que les premiers puissent remplir leur rôle de contrôle et les seconds répondre à leurs obligations réglementaires.

Une spécificité française réside dans le lien fort qui existe entre la comptabilité due au titre de la loi de juillet 1980 et celle due au titre de la réglementation européenne.

L'IRSN a étudié en 2004 les effets de l'évolution de cette dernière sur les 85 000 déclarations comptables annuelles. Les modifications des informations dues et des modes déclaratoires d'une part, la mise sous contrôle EURATOM des installations de traitement de déchets d'autre part, conduisent l'IRSN à étudier les évolutions nécessaires des règles de déclaration.

L'étude préliminaire engagée vise à déterminer l'effet sur la charge de travail de l'IRSN, les modifications à apporter au système d'information de la comptabilité nationale des matières nucléaires et la définition d'une nouvelle interface avec les systèmes d'information des exploitants.

Les résultats de l'étude seront discutés en 2005 avec les autorités et les industriels afin d'aboutir à une définition précise des évolutions réglementaires et fonctionnelles. L'année 2006 sera dédiée à la réalisation de ces évolutions, qui incluront une rénovation des documents-soutiens de la comptabilité nationale. L'ensemble, associé à un effort de formation, doit être opérationnel pour tous les exploitants nucléaires français début 2008.

L'une des difficultés sera d'assurer la compatibilité entre l'application informatique de la comptabilité nationale et celles des exploitants, tout en coordonnant les mises en production des différents outils informatiques.



Préparation d'un convoi de transport de combustibles irradiés à Cherbourg (Manche).

par les exploitants. Ces analyses ont nécessité une trentaine de réunions techniques. L'IRSN a en outre produit près d'une centaine d'analyses de comptes rendus d'inventaires de matières nucléaires. Par ailleurs, des personnels de l'IRSN effectuent, pour le compte du HFD, des inspections dans les installations détenant des matières nucléaires. Ces inspections ont pour but de s'assurer que les textes réglementaires applicables à la détention de ces matières sont bien respectés. Pour mémoire, la réglementation distingue les installations relevant d'un régime d'autorisation et les installations soumises à déclaration, selon la nature et les quantités de matières détenues.

Au cours de l'année 2004, l'IRSN a réalisé plus de 70 inspections chez les exploitants relevant du régime d'autorisation, dont plusieurs ont conduit à des mesures physiques de contrôle des matières. L'Institut a de plus effectué une vingtaine de visites techniques d'installations relevant du régime de déclaration.

Au-delà de cette activité continue, l'IRSN a mené des actions plus ciblées sur quelques installations, à la suite de la découverte d'anomalies ou de dysfonctionnements. La plus notable a concerné la découverte en juin 2004 de près de 400 kg d'uranium appauvri, non répertoriés dans la comptabilité, sur le site d'une société spécialisée dans la récupération de métaux.

Transports de matières nucléaires

L'IRSN assure, pour le compte du HFD, la gestion des dossiers de transport et le suivi des transports de matières nucléaires. La réglementation en vigueur impose aux sociétés de transport préalablement autorisées par le ministère de respecter des dispositions concernant l'organisation des mouve-

ments et leur déclaration. Au sein de l'IRSN, c'est l'Échelon Opérationnel des Transports (EOT) qui assure cette mission. Sa compétence s'étend à tous les transports de matières nucléaires réalisés par voie routière, ferroviaire, fluviale, maritime ou aérienne. Ces transports doivent faire l'objet d'une déclaration préalable à l'EOT quinze jours avant leur réalisation. C'est ainsi que quelque 1 700 transports sont portés à la connaissance de l'EOT chaque année. À réception des préavis de transport, des vérifications sont effectuées notamment sur :

- les dates et les horaires ;
- l'adéquation des conditions de protection physique avec la nature des matières transportées ;
- la validité des autorisations détenues par le transporteur et ses éventuels sous-traitants, qui font eux aussi l'objet d'une procédure d'agrément de la part du ministère ;
- l'itinéraire emprunté ;
- la composition de l'équipage ;
- les moyens de transport qui doivent avoir fait l'objet d'un agrément par le ministère selon la nature et les quantités de matières nucléaires transportées.

Lorsque la réalisation du transport est confirmée, l'EOT fait part de son accord à l'exécution du mouvement et en informe l'ensemble des autorités et organismes concernés (ministère de l'Industrie (HFD), ministère de l'Intérieur (dont DDSC), ministère des Finances (douanes). L'EOT est également chargé de suivre en temps réel le bon déroulement des transports les plus sensibles afin de s'assurer que la protection et le contrôle des matières nucléaires sont en permanence assurés de manière appropriée.

En 2004, l'EOT a assuré le suivi d'un transport international particulier : le transport de plutonium



Contrôle des colis de transport de matière nucléaire.

d'origine militaire entre les États-Unis et la France (opération EUROFAB). À cette occasion, l'EOT a instruit les dossiers relatifs aux autorisations et agréments des équipements de transport, à l'approbation des plans de transport et au suivi en temps réel des mouvements sur l'ensemble du territoire français, y compris dans les eaux territoriales.

Les contrôles internationaux de non-prolifération

Les traités internationaux de lutte contre la prolifération ou d'interdiction des armes de destruction massive, nucléaires et chimiques, mettent en place des systèmes de contrôle supranationaux. En France, l'IRSN apporte son concours et son soutien technique aux autorités en charge du suivi de ces contrôles.

Bien que différents, les systèmes de contrôle mis en place par le traité de non-prolifération, le traité de Rome et la convention sur l'interdiction des armes chimiques reposent tous sur la vérification par des fonctionnaires internationaux, dans les installations déclarées, des informations transmises par les États aux organismes internationaux de contrôle (AIEA, Euratom, OIAC).

Dans ce cadre, l'IRSN intervient pour le compte des autorités françaises en collectant et en préparant les déclarations françaises aux organismes de contrôle.

Il a également pour mission d'assurer le bon déroulement des inspections internationales dans les installations nucléaires ou chimiques françaises. Dans ce but, il prépare les inspections, les accompagne (en tant que représentant des autorités françaises) et négocie les modalités pratiques du contrôle avec l'équipe d'inspection. Dans son rôle d'appui technique des pouvoirs publics français, l'IRSN procède à l'analyse préalable de la

documentation technique transmise par les sites aux organismes de contrôle. L'IRSN assiste également les autorités françaises en analysant et en suivant les évolutions de la réglementation nationale ou internationale afférente au domaine de la lutte contre la prolifération. Il participe, autant que besoin, aux travaux interministériels ou aux groupes d'experts internationaux mis en place par l'OIAC ou l'AIEA.

En 2004, l'IRSN a préparé et transmis à l'OIAC :

- la déclaration annuelle des activités de l'année 2003 des sites chimiques français recensés (plus de 130) ;
- la déclaration annuelle des activités prévues en 2005 par les sites chimiques français recensés.

Il a traité et transmis à la Commission européenne :

- 610 000 lignes de déclarations de mouvements et de stocks de matières nucléaires ;
- 260 notifications d'importation ou d'exportation de matières nucléaires ;
- le programme d'activités des 220 installations nucléaires françaises déclarées ;
- la liste des quelques 250 détenteurs français de petites quantités de matières nucléaires (ainsi que les valeurs de leurs stocks).

Il a préparé et transmis à l'AIEA :

- les rapports comptables mensuels et semestriels sur les stocks en France de matières nucléaires soumises aux dispositions de l'accord de garanties ;
- les rapports comptables mensuels et semestriels sur les transferts internationaux de matières brutes et de minerais ;
- 500 notifications d'importation ou d'exportation de matières nucléaires ;
- la déclaration initiale de la France pour l'application du protocole additionnel (*cf. Focus p. 163*) ;
- les déclarations trimestrielles de la France sur l'exportation d'équipements nucléaires.



Manipulation dans le laboratoire d'Euratom sur le site de la Hague (Manche).

L'IRSN a accompagné les sept inspections de l'OIAC dans des installations chimiques civiles françaises. Il a également accompagné les vérifications d'inventaire des matières nucléaires de vingt-sept installations françaises.

Il a participé à l'ouverture des discussions entre la Commission européenne et les autorités françaises pour la définition des modalités du contrôle international d'installations nouvelles.

Concernant la réglementation, l'année 2004 a vu paraître un décret et trois arrêtés modificatifs pour l'application de la convention sur l'interdiction des armes chimiques. Dans la même période, un projet de loi concernant l'application du protocole additionnel français a été transmis au Conseil d'État.

FOCUS

PROTOCOLE ADDITIONNEL

Depuis le 30 avril 2004, l'entrée en vigueur du protocole additionnel aux accords de garantie de l'AIEA pour toute l'Union européenne a étendu le contrôle des matières nucléaires, initialement prévu par le traité de non-prolifération des armes nucléaires de 1970 et les accords de garanties qui ont suivi, à des activités de recherche et développement ainsi qu'aux équipements d'installations nucléaires. La mise en œuvre en France du protocole additionnel a été confiée au secrétariat du comité technique interministériel avec l'appui technique d'un service spécialisé de l'IRSN.

L'IRSN a élaboré en 2004 un manuel de déclaration qui a été envoyé à une sélection de 1 700 entités au début du mois de mai. Des industriels et des centres de recherche travaillant sur des sujets variés liés au cycle du combustible nucléaire ont été contactés, mais aussi des chaudronniers, des fabricants de pompes ou de tubes, etc.

En parallèle, l'IRSN a assuré une assistance téléphonique aux industriels sur une ligne dédiée.

En septembre, la déclaration de la France a été élaborée à partir des déclarations des entités françaises concernées, ce qui a nécessité un important travail de compilation. La déclaration a été envoyée à l'AIEA le 28 octobre 2004, dans le délai imparti de 180 jours après l'entrée en vigueur du protocole. Pour les prochaines déclarations, environ 150 entités seront régulièrement contactées par l'IRSN.



Enregistrement des déclarations des exploitants dans le cadre du protocole additionnel.



La centrale nucléaire de Dampierre-en-Burly (Loiret).

Protection des installations contre les actions de malveillance

L'évolution du contexte général en matière de sécurité a conduit le HFD à rechercher les améliorations pouvant être apportées à la réglementation relative à la protection des installations nucléaires contre les actions de malveillance, compte tenu de la réévaluation des menaces associées à de telles actions.



APPUI TECHNIQUE
EN MATIÈRE DE RISQUE
NUCLÉAIRE ET
RADIOLOGIQUE



DÉFINITION ET
MISE EN ŒUVRE
DE PROGRAMMES
DE RECHERCHE
NATIONAUX ET
INTERNATIONAUX

Évolution des textes réglementaires

Dans ce contexte, l'IRSN a été associé en 2004 à la définition d'un nouveau jeu de menaces de référence. Précisant les caractéristiques et les moyens prêtés aux agresseurs, ces menaces de référence sont utilisées pour le dimensionnement et la vérification du caractère adéquat des systèmes de protection physique des installations nucléaires. L'Institut a également proposé d'intégrer dans les mêmes textes réglementaires les prescriptions relatives à la protection des matières nucléaires à l'égard des risques de perte, de vol ou de détournement, et les prescriptions en matière de protection des installations et des matières nucléaires contre les actions de malveillance. L'objectif est d'aboutir à un ensemble de mesures de protection cohérentes relevant d'une conception globale des systèmes de protection.

L'IRSN s'est attaché à préciser :

- les missions et les responsabilités respectives des pouvoirs publics et des opérateurs ;
- les objectifs de protection que les opérateurs doivent respecter ;

- les principes généraux à retenir pour la conception et l'exploitation de systèmes de protection physique (défense en profondeur, dispositions matérielles, gardiennage et dispositions organisationnelles) ;
- la nature des zones des installations à protéger, avec les prescriptions de protection associées ;
- les principes de gestion des exigences qui pourraient s'avérer contradictoires entre sûreté nucléaire et protection physique des installations ;
- le processus d'approbation des dossiers réglementaires exigés des opérateurs ;
- la méthode et le contenu des études de protection (relatives à la malveillance) et des études de sécurité (relatives au vol de matières nucléaires). En particulier, les études de protection s'appuient à la fois sur une étude de sensibilité visant à apprécier les conséquences radiologiques d'une action de malveillance, ainsi que sur une étude de vulnérabilité permettant d'apprécier le degré de difficulté pour réaliser une telle action ;
- le processus de réexamen périodique à mettre en œuvre afin de s'assurer de la pertinence du dispositif de protection ;
- le processus de déclaration des événements relatifs à la malveillance ;
- le processus de contrôle et d'inspection.

Études et développement d'outils d'évaluation

L'IRSN a poursuivi en 2004 le programme Résistance des structures à des agressions malveillantes, qui vise à rassembler des outils permettant de prédire les dommages causés aux structures ou aux



Protection physique.

équipements par l'usage d'armes ou d'explosifs. Ces outils sont utilisés dans le cadre des analyses de dossiers transmis par les exploitants.

Le travail est prévu en deux étapes :

- recensement de l'ensemble des « cibles » possibles et des moyens de destruction entrant dans le cadre des menaces de référence ;
- classement des « cibles » et des moyens de destruction en catégories qui, une fois regroupées, définissent l'ensemble des cas génériques à traiter. Il en résulte une matrice de cas, constitués de couples « arme/cible ». À titre d'exemple, sont considérés comme cibles des structures de béton armé, des réservoirs, des tuyauteries ainsi que certains systèmes mécaniques assurant une fonction de sûreté.

Deux familles d'outils ont été développées :

- des outils simplifiés d'utilisation rapide, fondés sur des méthodes analytiques. Les méthodes analytiques sont utilisées pour le développement d'outils de simulation numérique ne nécessitant que des ressources limitées. Leur intérêt principal est la rapidité d'exécution qui autorise notamment des études paramétriques. Ces méthodes permettent en général de déterminer correctement

les ordres de grandeur des sollicitations que l'on veut étudier. Elles sont par exemple utilisées pour étudier la réponse de murs de béton armé au souffle d'une explosion en champ lointain ou pour l'approche spécifique d'un chargement en champ rapproché ;

- des modèles numériques issus de codes de calcul de mécanique. Les études réalisées à l'aide de codes de calcul de mécanique viennent en complément de celles conduites avec les méthodes analytiques : la simulation numérique apporte une meilleure précision des résultats, la possibilité d'introduire des modèles plus complexes et plus réalistes et la détermination des évolutions de paramètres locaux.



Étude et développement d'outils d'évaluation pour la protection physique des installations.



Exercice de crise défense sur une base militaire.

Gestion des situations d'urgence d'origine malveillante

Exercices relatifs à l'application de la loi de juillet 1980

L'IRSN organise à la demande du HFD des exercices dans le domaine de la protection des installations visant à tester la chaîne décisionnelle, la coordination et les interfaces entre les intervenants (exploitant, pouvoirs publics).

Ainsi, en 2004, l'Institut a notamment :

- engagé la préparation et l'organisation d'un exercice de grande ampleur qui aura lieu en 2005,
- examiné les enseignements à tirer d'un exercice de même nature réalisé en 2003.

L'IRSN est également chargé de la gestion des situations de crise relatives aux matières nucléaires. Il organise des exercices d'inventaires de matières nucléaires en situation de crise dans le but de tester l'efficacité du dispositif prévu à cet effet. En 2004, un exercice a concerné l'installation CERCA de Romans (Drôme) et l'installation ORPHEE de Saclay (Essonne). (cf. Focus p. 167).



APPUI TECHNIQUE
EN MATIÈRE DE RISQUE
NUCLÉAIRE ET
RADIOLOGIQUE



Exercice de crise défense sur une base militaire.





Cellule de crise d'inventaire de matières nucléaires.

FOCUS

EXERCICE DE CRISE D'INVENTAIRE DE MATIÈRES NUCLÉAIRES

L'objectif de l'exercice est de tester de manière inopinée les capacités d'une ou plusieurs installations à détecter la disparition éventuelle de matières nucléaires et donc de savoir si la disparition des matières peut échapper à la surveillance de l'exploitant de l'installation concernée.

Pour ce faire, les exploitants réalisent, dans des délais très brefs, un inventaire ciblé sur les types de matières dont le détournement ou le vol est suspecté.

Plusieurs cellules de crise sont mises en place à cet effet :

- à l'IRSN, une cellule regroupant des chargés d'affaires des installations concernées et de différents experts chargés du suivi, de la comptabilité, du transport et de la protection physique des matières nucléaires. Elle rend compte au HFD de l'évolution de la situation et des actions qu'elle initie,
- aux sièges des sociétés exploitantes et dans les installations, des cellules décident des actions à mener et suivent l'avancement des opérations. Elles rendent compte de l'avancement des vérifications au HFD et à l'IRSN.

Ces cellules communiquent avec les médias dans leur domaine de compétence, dans le cadre d'une pression médiatique simulée.

Les exploitants effectuent les mesures nécessaires jusqu'à l'obtention d'une vision précise de la situation. Des réseaux cryptés sont utilisés entre les différentes cellules pour échanger, le cas échéant, des informations classifiées (quantité ou composition isotopique de matières nucléaires sensibles, par exemple).

L'expérience tirée de ces exercices permet d'améliorer les systèmes qui seraient mis en œuvre en cas de crise effective (rédaction de procédures, moyens de communication, etc.).


L'exercice mené en 2004 a notamment permis d'identifier un moyen d'amélioration de l'identification des matières sur l'un des sites.



3 Pilotage et support



Rechercher pour comprendre



164

demandes
de presse
traitées

100

hommes/an
équivalent temps
passé dans l'activité
internationale

Participation

de 64

personnes de l'IRSN
dans des groupes
d'experts
internationaux

68 %

des personnels de
l'IRSN sont ingénieurs,
chercheurs ou cadres

32 %

des personnels
de l'IRSN sont des
techniciens ou employés
de support technique
et administratif

77 %

des personnels
sont salariés IRSN et

23 %

sont mis à disposition
par le CEA à la fin 2004

106

recrutements
effectués en 2004

3 218

heures d'enseignement/
formation dispensées

1 150 000

euros consacrés
à la formation

126

stagiaires accueillis
à l'IRSN en 2004

Excellence scientifique et technique

> 172 Excellence scientifique et technique

> 175 Ingénierie de la connaissance scientifique et technique

> 176 Sécurité

> 178 Qualité : le projet de Certification de l'IRSN



Réunion de l'échelon central de la Direction de l'excellence scientifique et technique et de la qualité.

Excellence scientifique et technique

La compétence constitue un facteur essentiel pour assurer la crédibilité des travaux de l'Institut et obtenir la confiance de ses partenaires, de ses clients et de la société. Cette compétence repose sur l'excellence scientifique et technique de ses équipes et de ses activités de recherche et d'expertise.

Séminaire sur l'excellence scientifique et technique

C'est sur cette base que l'IRSN a décidé de clarifier sa politique et ses orientations. À cet effet, l'IRSN a organisé un séminaire sur l'excellence scientifique et technique de ses activités, le 16 mars 2004, au Vésinet.

Après ce séminaire, les orientations de l'Institut pour la mise en œuvre d'une politique d'excellence scientifique et technique à l'IRSN ont été formalisées. Cette politique est fondée sur les trois axes suivants :

- la promotion de l'excellence scientifique et technique au sein de l'Institut,



Une thésarde du laboratoire de radioécologie sélectionnant des larves sous binoculaire.

- la mise en place d'un système interne d'évaluation scientifique et technique des activités de l'Institut,
- la valorisation des activités contribuant au rayonnement externe de l'IRSN.

Elle a fait l'objet d'une présentation au conseil scientifique le 15 novembre 2004 et au conseil d'administration le 28 janvier 2005.

Les débats du séminaire ont mis en évidence l'intérêt de mettre en place un comité sur l'excellence scientifique, avec pour objectif de coordonner et de suivre l'avancement de toutes les actions associées à l'atteinte et à la reconnaissance de l'excellence scientifique et technique.

Lancement d'évaluations scientifiques et techniques ciblées à caractère pilote

L'évaluation ciblée peut porter sur toute activité à caractère scientifique ou technique de l'Institut (prestations, expertises, recherches, études). Elle fait appel à des experts indépendants, n'ayant pas été impliqués dans l'activité concernée et dans toute la mesure du possible externes à l'Institut. Pour établir, en concertation avec les équipes concernées, le type de questionnement et les modalités pratiques de ces évaluations, il a été décidé de réaliser un certain nombre d'opérations à caractère pilote. Ces évaluations concernent :

- les résultats d'un programme de recherche,
- des collaborations scientifiques,
- la réorientation d'un programme de recherche,
- une expertise de sûreté,
- une équipe.

Ces évaluations sont en cours et permettent de converger progressivement sur les aspects

Formation par la recherche

L'IRSN accueille chaque année une vingtaine de doctorants (18 en 2004) et quinze stagiaires post-doctorants qui contribuent aux relations avec le monde académique. Ainsi, la plupart des directeurs des thèses qui se déroulent à l'IRSN sont des chercheurs extérieurs à l'Institut. L'IRSN souhaite accroître son effort de formation par la recherche et a engagé en 2004 l'élaboration d'un plan visant à porter à 30 par an le nombre de nouvelles thèses et à 30 par an le nombre de stages post-doctoraux. En parallèle, l'Institut encourage ses chercheurs à soutenir l'habilitation à diriger les recherches (HDR), signant ainsi sa volonté d'ouverture vers le monde de la recherche universitaire.



Dialogue entre un thésard et son tuteur au laboratoire de radioécologie et d'écotoxicologie à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Un rapprochement a été initié avec l'Observatoire des sciences et des techniques. L'objectif est d'entrer dans le cercle des organismes de recherche qui tentent actuellement de normaliser les indicateurs afin qu'ils soient autant que possible comparables.

Mise en œuvre d'une animation scientifique transverse

L'animation scientifique et technique interne est progressivement mise en application afin de mutualiser les connaissances et de mieux identifier, coordonner et exploiter les actions transversales aux unités opérationnelles.

Ainsi, en 2004, ont été définis deux sujets, pour lesquels il existe un besoin de partage de l'expérience au sein de l'Institut : l'utilisation des codes de MONTE-CARLO et l'utilisation des plans d'expérience. En 2004, un état de l'art a été fait sur les codes de MONTE-CARLO.

Version préliminaire d'un programme d'excellence scientifique et technique

La mise en œuvre d'un tel programme a pour objectif d'assurer la lisibilité, la transparence et la reconnaissance des activités de l'Institut contribuant spécifiquement à la promotion de l'excellence scientifique et technique, à sa mise en œuvre et à sa reconnaissance externe :

- la formation par la recherche et l'enseignement,
- l'animation scientifique,
- l'évaluation scientifique et technique,
- la reconnaissance externe,
- la recherche exploratoire.

Ce programme est aussi un outil de pilotage, permettant de fixer des objectifs là où des orientations stratégiques sont à bâtir, de suivre l'avancement

génériques du processus d'évaluation, malgré la diversité des sujets et des équipes concernés (phasage des évaluations, documents supports, nature des questionnements, etc.).

Mise en place d'indicateurs pour une évaluation scientifique et technique globale

L'évaluation scientifique et technique avec mise en place d'indicateurs procède d'une autre démarche : ces indicateurs doivent être des outils internes en vue d'atteindre des objectifs d'amélioration ; ils doivent servir à positionner l'Institut par rapport à l'extérieur. Ils doivent enfin contribuer à la reconnaissance de la qualité scientifique et technique de sa production.



Les secrétaires de la DESTQ à l'accueil du séminaire de l'excellence scientifique et technique du 16 mars 2004.

des actions qui permettent d'atteindre ces objectifs, ou de proposer des inflexions.

Relations avec les universités et les organismes scientifiques

Elles sont essentielles pour un organisme de recherche comme l'IRSN. En effet, bien qu'orientées vers l'acquisition de connaissances en relation avec les expertises, les recherches de l'Institut doivent pouvoir être soumises à l'appréciation d'experts extérieurs qui peuvent les critiquer, les évaluer et les enrichir d'idées nouvelles. Du fait du champ très large de ses missions, l'Institut doit faire appel à des compétences extérieures en complément des siennes. Les relations avec les universités sont un moyen privilégié de faire évoluer et d'améliorer les compétences utiles et indispensables à l'IRSN. Ces relations permettent à ses experts d'intervenir dans les formations dispensées par les universités et les grandes écoles, ce qui permet de faire connaître l'Institut, d'y attirer des jeunes et de remplir sa mission de formation.

Les études développées en commun avec les universités, les grandes écoles et les laboratoires du CNRS s'accompagnent de la signature d'accords de collaboration portant sur des recherches communes et l'accueil de stagiaires. En 2004 ont été signées des conventions de collaboration avec différentes universités (voir encadré). En particulier, dans le cadre de l'accord national de coopération avec le CNRS signé en 2003, huit accords spécifiques ont été signés avec différents laboratoires du CNRS sur des sujets variés : « comparaison de modèles numériques de calculs de percolation à travers des digues », « modélisation de perturbations géochimiques en champ proche d'un stockage en formation argileuse profonde », « paléosismicité de la faille de la moyenne Durance dans la région de Manosque », « caractérisation des sources et processus à l'origine de traceurs radioactifs naturels (U^{234} , U^{238} , Ra^{222}) en milieu fracturé », etc.

Accords signés en 2004 entre l'IRSN et les universités

- **6 janvier** : accord avec l'Institut de physique nucléaire de Lyon (unité mixte de recherche CNRS université de Lyon-1).
- **13 janvier** : accord avec FAST (UMR CNRS université Paris-6).
- **19 janvier** : accord avec le laboratoire de mécanique des fluides et acoustique (UMR CNRS École centrale de Lyon).
- **28 janvier** : accord avec l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse (UMR CNRS INP Toulouse).
- **28 janvier** : accord-cadre avec l'université de Pau.
- **18 mars** : accord avec Géosciences Rennes (UMR CNRS).
- **30 mars** : accord avec le laboratoire d'écologie des hydrosystèmes (UMR CNRS université de Toulouse-3).
- **17 mai** : accord-cadre avec l'association ARMINES.
- **17 mai** : accord avec le CEREGE (UMR CNRS).
- **4 août** : accord avec le département du génie civil et bâtiment (UMR CNRS ENTPE).
- **2 novembre** : accord-cadre avec l'université Versailles Saint-Quentin.
- **24 novembre** : accord avec le laboratoire d'analyse, topologie, probabilité (UMR CNRS université Aix-Marseille-1).



Bibliothèque du Centre des Ressources en Information Scientifique.

Ingénierie de la connaissance scientifique et technique

Les activités d'ingénierie de la connaissance scientifique et technique (ICST) s'articulent autour de deux axes principaux : l'information scientifique et technique (IST) et la gestion des archives de l'IRSN. L'objectif visé est de faciliter et d'élargir l'accès des ingénieurs et des chercheurs de l'IRSN à la documentation scientifique et technique dont ils ont besoin pour remplir leurs missions.

En 2004, plusieurs projets ont été lancés pour répondre à ces deux objectifs.

Le centre de ressources en information scientifique (CRIS) a entièrement restructuré son site Intranet pour rendre plus lisible son offre de services. Un club des utilisateurs du CRIS a été mis en place pour améliorer cette offre. Une réflexion a été engagée sur l'extension de l'accès aux revues électroniques.

Enfin, le CRIS a choisi, avec le club des utilisateurs, une base de données bibliographique consultable en ligne. Cet outil complète les bases de données bibliographiques mises à la disposition des personnels de l'IRSN.

L'année 2004 a également vu le lancement du projet Archives. En effet, l'IRSN conserve les archives de l'ex-IPSN et de l'ex-OPRI. Le projet consiste à récolter les 12 km d'archives existantes afin d'en donner un état à la Direction des archives de France et au CEA (dont l'IPSN était une direction) et de doter l'Institut d'un outil permettant la mise en place progressive d'une organisation pérenne de gestion des archives. À la fin de l'année 2004, plus de 50 % des archives avaient été inventoriées. Enfin, l'IRSN a mis en place une organisation permettant d'établir des bilans annuels en matière de formation par la recherche, d'enseignements réalisés et de publications. Ces bilans sont la source de plusieurs des chiffres présentés dans ce rapport.



Laboratoire des échantillons actifs : contrôle radiologique de non contamination d'une paillasse de sorbonne.

Sécurité

En matière de sécurité, les actions menées par l'IRSN en 2004 concernent autant la sécurité des installations que celle du personnel.

Mise à niveau des installations et des activités de l'Institut

L'IRSN exerce la majorité de ses activités dans des installations issues de l'ex-OPRI et du CEA, dont certaines nécessitent des travaux importants de mise à niveau sur le plan technique et réglementaire. Afin de définir les priorités, un plan d'actions majeures a été établi en 2004 concernant les installations pour lesquelles les risques sont les plus importants et qui ont une fonction stratégique pour l'exercice des missions de l'Institut.

Les travaux ont débuté, sur le site du Vésinet (Yvelines), par la rénovation des installations électriques et de la ventilation des installations de mesure de la radioactivité dans l'environnement. La mise à niveau concerne également les autorisations de détention et d'utilisation de sources radioactives par les laboratoires dans le cadre des programmes de recherche de l'Institut. En 2004, 80 % de ces laboratoires en dehors des activités exercées dans des ICPE autorisées ont obtenu les autorisations nécessaires de la DGSNR en application du Code de la santé publique. Il convient de souligner que l'IRSN a hérité de plus de 1 300 sources radioactives, dont environ 900 sans emploi, pour lesquelles une provision pour élimination a été constituée à la séparation du CEA et de l'IPSN. En 2004, un accord avec l'ensemble des fournisseurs

de sources, principalement le CEA (80 % des sources à éliminer), a été signé et a permis d'en évacuer 20 %.

Formation du personnel

En 2004, 764 salariés ont suivi une formation de base à la sécurité, dont 450 dans le cadre de l'accueil des nouveaux arrivants.

À ces formations générales s'ajoutent des formations spécifiques, organisées pour la plupart au sein de l'Institut, avec notamment, en 2004, 93 salariés formés dans le domaine de la radioprotection et 31 salariés dans le domaine du transport des matières radioactives.

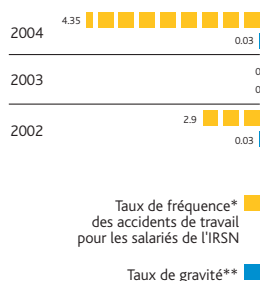
Radioprotection des travailleurs

L'Institut a engagé plusieurs actions pour l'application du décret du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs. Il a notamment désigné des personnes compétentes en radioprotection (PCR) pour les sites du Vésinet, d'Agen (Lot-et-Garonne) et des Angles (Vaucluse).

Sécurité sur les sites

Sur le site du Vésinet, la mise en place, en 2004, d'une équipe de sécurité locale a permis de réaliser un diagnostic précis sur les risques et la conformité réglementaire des installations. Des actions de prévention ciblées sur l'intervention des entreprises extérieures et sur la réduction des risques d'incendie ont été engagées. Il s'agit notamment de la mise en place systématique avec les entreprises extérieures de plans de prévention et de protocoles de sécurité lors des opérations de chargement et

Les indicateurs de sécurité de l'IRSN



*Nombre d'accidents avec arrêt de travail multiplié par un million et divisé par le nombre d'heures travaillées.

**Nombre de journées de travail perdues multiplié par 1 000 et divisé par le nombre d'heures travaillées.



Contrôle de débit de doses
sur un échantillon radioactif.

de déchargement des marchandises dangereuses avec les entreprises extérieures et de la réduction des charges calorifiques dans les installations. À Cadarache (Bouches-du-Rhône), le changement d'exploitant des installations classées pour la protection de l'environnement au bénéfice de l'Institut et la mise en service de nouvelles installations soumises à autorisation (AMANDE et EPICUR) ont conduit le préfet à demander une révision en profondeur de l'arrêté préfectoral de 1986 qui s'appliquait aux installations de l'Institut. En 2004, l'Inspection des installations classées a rédigé le projet de prescriptions générales sur la base d'une description actualisée des activités et des rejets des installations de l'IRSN.

Les installations et les activités réglementées de l'Institut

Activités soumises au Code de l'environnement (décret du 21 septembre 1977 modifié relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement),

■ ICPE soumises à autorisation :

- 11, dont 9 relevant des rubriques 1 700 (utilisation ou dépôt de substances radioactives).

■ ICPE mises en service :

- CEZANE AMANDE, installation produisant des faisceaux de rayonnements neutroniques dans le cadre de programmes de dosimétrie (Cadarache).
- EPICUR, irradiateur au cobalt 60 permettant d'évaluer le comportement de l'iode sous radiolyse ou rayonnement (Cadarache).

■ ICPE soumises au régime de déclaration :

- 15, dont 14 relevant des rubriques 1 700.

■ ICPE mises en service :

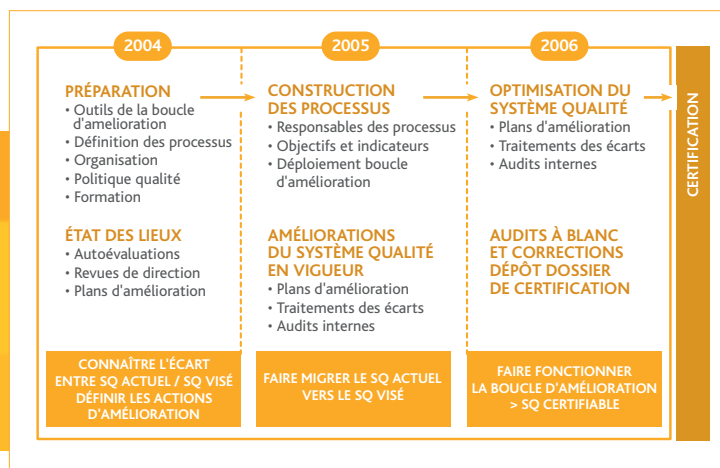
- banc gammamétrique d'analyse de roche permettant d'étudier les mécanismes de transfert des radionucléides dans le sol et le sous-sol (Fontenay-aux-Roses, Hauts-de-Seine).

Activités soumises au Code de la santé publique (décret du 4 avril 2002 modifié relatif à la protection des populations contre les rayonnements ionisants).
Nombre de demandes d'autorisation déposées auprès de la DGSNR en 2004 : 19.

Nombre d'autorisations délivrées : 14 (5 en cours d'instruction).

Personnels exposés aux rayonnements ionisants :

- catégorie A : 114,
- catégorie B : 678.



Les grandes étapes du projet de certification.

Qualité : le projet Certification à l'IRSN

Lancé à l'été 2003, le projet Certification consiste en la mise en place à l'IRSN d'un système de management par la qualité dans l'objectif d'obtenir à l'horizon 2006 la certification ISO 9001 pour l'Institut. En 2004, ce projet a donné lieu à la pose des fondations.

On retiendra comme principaux résultats du travail réalisé dans ce cadre en 2004 :

- la réalisation d'une planification détaillée du projet, tenant compte aussi bien des tâches à la

charge des différents responsables qualité de l'Institut que des tâches liées au déploiement du système dans l'ensemble des unités ;

- la formation de la plupart des chefs d'unité et des responsables qualité à l'approche Processus et aux exigences de la norme ISO 9001 ;
- l'effort de sensibilisation du personnel à l'action entreprise, notamment par une refonte du site Intranet qualité et la préparation de plusieurs plaquettes de présentation au personnel des divers aspects de cette action ;
- l'explicitation de la politique qualité de l'Institut

FOCUS

RENOUVELLEMENT DES ACCRÉDITATIONS POUR L'ANALYSE D'ÉCHANTILLONS

Le service de traitement des échantillons et de métrologie pour l'environnement de l'IRSN (STEME) a obtenu en 2004 le renouvellement jusqu'en 2009 de ses accréditations COFRAC, selon le référentiel

de la norme NF EN ISO 17025, pour les programmes 135 « Analyse en laboratoire des radionucléides présents dans tous types d'échantillons de l'environnement » et 99/4 « Analyse de contaminants chimiques chez les animaux, dans leurs produits et les denrées alimentaires destinées à l'homme ou aux animaux : radionucléides ».

L'accréditation COFRAC offre aux entreprises, aux consommateurs et aux pouvoirs publics une garantie de confiance dans les prestations effectuées. Signataire de l'accord multilatéral européen de reconnaissance mutuelle pour les essais, les étalonnages et la certification, et des accords internationaux équivalents, le COFRAC constitue aussi un passeport pour l'exportation.

La préparation des audits de renouvellement a nécessité la constitution d'un important référentiel documentaire.

Les activités couvertes par l'accréditation sont notamment :

- la mesure du tritium dans les eaux douces et les eaux de mer ;
- la mesure de l'indice de radioactivité bêta global (aérosol-air) ;
- la mesure des radionucléides émetteurs alpha ^{238}Pu , $^{239} + ^{240}\text{Pu}$, ^{241}Am dans les eaux ;
- la mesure du ^{14}C dans les échantillons solides ;
- la mesure des radionucléides émetteurs gamma dans les eaux douces, les échantillons solides et les filtres de prélèvements d'aérosols.

Des audits de surveillance d'accréditation auront lieu en 2005 avec une extension du périmètre portant sur la mesure de l'uranium dans l'eau.

Les audits

En 2004, 21 audits internes ont été réalisés à l'IRSN, dans le prolongement de ce qui avait été fait les années précédentes. On notera parmi ceux-ci deux audits transverses : celui de préparation à l'audit réalisé au printemps 2004 par l'AIEA sur le référentiel français de la sûreté du transport des matières radioactives et celui de la partie réacteurs du processus élaboration d'un avis pour un Groupe permanent. De plus, pour anticiper la montée en puissance progressive du programme d'audits liée au projet Certification, le corps des auditeurs a été substantiellement renforcé.

Les accréditations et certifications

Il y a actuellement à l'IRSN six unités accréditées (norme ISO 17025) et deux certifiées (norme ISO 9001, version 2000).

Les accréditations du laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants (pour l'activité étalonnage d'instruments de mesure de dosimétrie des photons) et du service de traitement des échantillons et de métrologie dans l'environnement (cf. Focus p. 178) ont été renouvelées en 2004.

selon trois axes : satisfaction de ses partenaires et clients (internes et externes), démonstration de professionnalisme dans l'exercice de ses diverses activités et, dans certains cas, bénéfice retiré de ses activités pour l'ensemble de la société ;

- la clarification de l'organisation de l'IRSN en matière de qualité. Celle-ci s'articule autour de la distinction entre la ligne d'action, constituée de la ligne hiérarchique, responsable de la définition et de la mise en place des diverses dispositions du système (état des lieux, définition des objectifs et des indicateurs, élaboration des plans d'action, mise en place des améliorations, etc.) et le réseau des différents responsables qualité, en charge de la coordination de l'élaboration du système, de sa surveillance et du soutien méthodologique aux différentes unités de l'Institut ;

- la réalisation par chaque unité, aux divers niveaux hiérarchiques (Institut, direction, services, etc.), d'un état des lieux « qualité » permettant de faire le point de l'existant dans ce domaine par rapport aux exigences de la norme ; dans un deuxième temps, les revues de direction de ces mêmes unités, tenues à la suite des états des lieux, ont permis d'élaborer le plan d'actions, approprié pour chaque unité ;

- la réalisation, le 27 septembre 2004, de la revue de direction IRSN qui a permis d'élaborer le plan d'action de l'Institut jusqu'à la prochaine revue de direction.





La communication

> 182 La communication



Portail Internet de l'IRSN.

La communication

La communication de l'IRSN est organisée autour de trois axes : la communication interne, l'information sur le risque nucléaire et radiologique et la promotion et la valorisation de l'Institut, expert public aux compétences multiples.

Communication interne

Elle contribue à favoriser le sentiment d'appartenance à l'IRSN en développant une culture commune. La principale action de l'année en communication interne est la création du journal interne *Repères IRSN*, trimestriel de 16 pages complété par un supplément de 4 pages décliné pour chaque direction opérationnelle. Les objectifs de ce support d'information sont de faire connaître les multiples métiers et activités de l'Institut, de favoriser la compréhension

De plus, dans le domaine de l'Intranet, un effort a porté sur la mise à disposition d'informations sur la vie quotidienne de l'Institut et l'intensification des mises à jour à travers des rubriques plus dynamiques. Des actions seront poursuivies dans l'objectif de faire d'Intranet un outil interactif plus structuré et utilisé.

Enfin, la construction de l'Institut s'est également traduite en 2004 par la déclinaison d'une identité visuelle de l'Institut, à partir de son nouveau logo : mise en place d'une charte graphique, d'une charte éditoriale et déploiement de ces outils, notamment à travers la papeterie, la signalétique, les tenues des personnels d'intervention, etc. Une action d'accompagnement a été menée en interne, dans les différents sites de l'Institut, sur l'utilisation de ces chartes.

Information

Elle a pour objectif de fournir une information de référence, explicative, pédagogique et documentaire adaptée à chaque public. Il s'agit également d'assurer les relations avec la presse, en répondant à ses demandes.

Dans le domaine de l'information du public, l'IRSN a poursuivi en 2004 des actions auprès du grand public et des professionnels (cf. Partie 2, chapitre Information du public).

En matière de relations avec les médias, l'action de l'Institut a permis de répondre dans les meilleurs délais aux sollicitations de la presse (164 demandes et six reportages TV), de l'informer de son actualité (15 communiqués de presse) et de lui fournir des



Portail Intranet.

de la nouvelle organisation et de la stratégie de l'IRSN. Quatre numéros ont été réalisés et diffusés entre février et décembre 2004. Ils ont donné lieu à une enquête de lectorat dont les conclusions sont plutôt positives : *Repères IRSN* est un journal lu, attendu, apprécié tant dans son contenu que dans la régularité de sa parution.



Le journal interne de l'IRSN.

informations de fond lui apportant des éléments de compréhension des événements. Au-delà de la veille médiatique et de la veille du débat public sur le nucléaire que l'Institut assure, en temps réel, les relations avec les médias se sont également traduites en 2004 par une rencontre avec l'AJE et par l'organisation de deux voyages de presse : à Tchernobyl (Ukraine), à l'occasion de la conférence de clôture de l'IFA (5 et 6 octobre), et à Cadarache (Bouches-du-Rhône), à l'occasion du dernier essai du programme PHEBUS-PF (18 novembre).

La valorisation et la promotion

Elle doit contribuer à asseoir la notoriété de l'Institut :

- en tant qu'expert scientifique au service des pouvoirs publics, des opérateurs et de la société en France et en Europe,
- en tant qu'organisme favorisant le dialogue avec la société civile,

■ en tant qu'expert contribuant à la compréhension des risques nucléaires et radiologiques.

Les actions de valorisation et de promotion de l'Institut en 2004 se sont notamment traduites par l'édition de fiches techniques permettant de valoriser les prestations que l'Institut propose : ainsi, 10 fiches « produit » (analyses radiotoxiques, quantification d'éléments radioactifs à bas niveau d'activité, etc.) et 5 fiches « formation » (métrologie du radon dans les bâtiments, etc.) ont été diffusées, notamment dans le cadre des salons et congrès auxquels l'Institut a participé.



Une partie de l'équipe communication et du réseau de chargés de communication de l'IRSN.



Ressources humaines et relations sociales

> 186 Ressources humaines et relations sociales



Accueil des jeunes et des thésards.

Ressources humaines et relations sociales

Les ressources humaines : une politique active pour accompagner le développement de l'IRSN

L'année 2004 a été marquée par l'engagement d'importantes actions en matière de gestion des ressources humaines. Inscrites dans les orientations définies par l'Institut, elles s'articulent autour d'objectifs clés : utiliser la compétence comme fondement de la politique des ressources humaines.

Des réflexions ont été engagées et des actions lancées

La gestion des ressources humaines de l'IRSN s'inscrit dans le projet global de l'Institut. Dans ce cadre, plusieurs réflexions ont été lancées en 2004.

■ **Développement d'une filière Experts** : l'IRSN souhaite développer les perspectives d'évolution de carrière de ses salariés et proposer de nouveaux parcours professionnels motivants, notamment par la création d'une filière Experts. Seront nommés à des fonctions d'experts des salariés se distinguant par des compétences reconnues et des productions remarquables. Leur fonction sera définie par des missions qui devront pleinement contribuer à l'atteinte des objectifs de la politique scientifique et technique de l'Institut et à sa reconnaissance

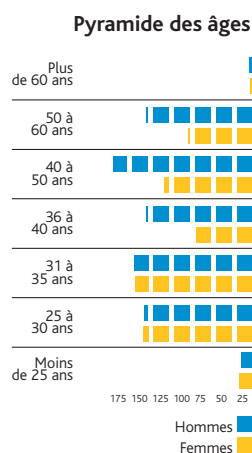
dans la communauté scientifique internationale.

■ **Renforcement du management** : l'IRSN a réaffirmé le rôle central des responsables d'unité, qui doivent rendre opérationnelle la stratégie de l'Institut et motiver leurs équipes pour y contribuer. Dans cet esprit, des entretiens individuels et collectifs avec des managers ont été organisés en 2004. Ils doivent déboucher en 2005 sur un programme de formation à la prise de responsabilités hiérarchiques.

■ **Rémunération des cadres** : après l'amélioration de la grille des salaires des salariés ou personnels non cadres en 2003, une réflexion et des négociations ont débuté en 2004 pour simplifier et dynamiser le système de rémunération des cadres, ingénieurs et chercheurs. L'IRSN veut pouvoir attirer les jeunes, mieux reconnaître les prises de responsabilité, l'expertise et les résultats personnels, motiver ses salariés sur l'ensemble de leur carrière.

La politique de gestion des ressources humaines a été redéfinie et des actions ont été lancées en 2004 concernant ses principaux processus, afin de les définir ou de les réviser et de les formaliser pour les rendre plus clairs et plus efficaces.

■ **Le recrutement** : le processus de recrutement a été entièrement reformulé. Il privilégie une simplification administrative de la gestion du dossier et un suivi plus lisible par les unités opérationnelles. Un entretien systématique de la DRH avec les candidats présélectionnés par les directions a été





instauré afin d'apporter aux directeurs un conseil et une vue plus complète pour leur prise de décision.

■ **L'entretien annuel** : l'entretien annuel est un véritable outil de management individuel et collectif. Il a été complètement redéfini pour bien répondre aux priorités de l'IRSN et assurer une gestion dynamique de ses ressources humaines.

■ **La mobilité** : en 2004, des salariés ont rejoint des organismes extérieurs à l'IRSN pour poursuivre et élargir leur parcours professionnel. La mobilité est un objectif prioritaire de l'IRSN qui prévoit de signer des accords avec des organismes de recherche français ou étrangers, afin de renforcer son ouverture sur la communauté scientifique et de contribuer au développement des relations avec ses principaux partenaires.

Un effectif en évolution

Au 31 décembre 2004, l'IRSN comptait 1 471 salariés pour un effectif objectif de 1 515 postes : 77 % de salariés sous contrat (en CDI) avec l'IRSN et 23 % mis à disposition de l'Institut par le CEA. Les cadres, ingénieurs et chercheurs représentent plus des deux tiers de l'effectif total et la moyenne d'âge est plutôt jeune, puisque 48 % des femmes et 38 % des hommes ont entre 25 et 35 ans. Les femmes représentent 45 % des ressources humaines de l'IRSN.

La politique sociale

Depuis 2003, le cadre social de l'IRSN est clairement défini (conseil d'administration, comité d'entreprise, délégués du personnel, CHSCT, etc.) et l'accord d'entreprise signé en 2003 assure, avec une série d'accords complémentaires signés en 2003 et 2004,

un haut niveau de protection des salariés dans le cadre d'un dialogue social actif et constructif. Au long de l'année 2004, les négociations conduites dans le cadre d'un calendrier établi entre la direction et les partenaires sociaux ont notamment porté sur le choix d'une nouvelle mutuelle proposant une couverture des frais de santé nettement améliorée et à coût égal, sur la signature d'un accord sur la grille des salariés non cadres et sur la signature d'un accord salarial pour l'année 2004.

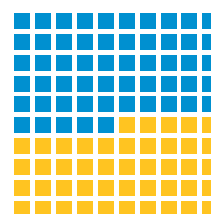
Les instances du comité d'entreprise et des délégués du personnel se sont réunies normalement au cours de l'année 2004, ce qui représente plus d'une quarantaine de réunions au total, avec une montée en charge du comité d'entreprise qui assure, depuis le 1^{er} janvier 2004, la responsabilité directe de l'intégralité de ses missions.

L'année 2004 a également enregistré une croissance progressive des ouvertures de plans d'épargne-entreprise de l'IRSN. Fin 2004, un peu plus de 20 % des salariés y adhéraient. L'Institut a par ailleurs défini sa politique en matière d'aide au logement et choisi deux organismes collecteurs partenaires. Enfin, un dispositif de prêts directs au personnel a permis à une quinzaine de salariés de bénéficier en 2004 d'une aide pour l'acquisition d'un logement ou d'un véhicule.

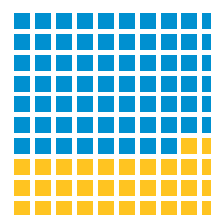
L'accueil des jeunes

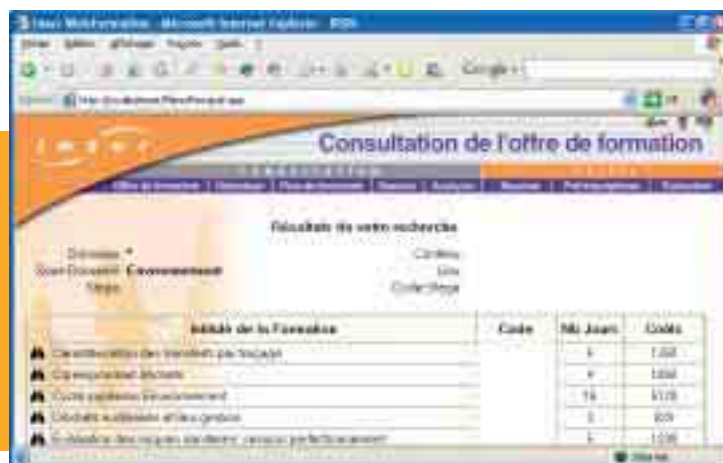
En 2004, l'IRSN a accueilli 63 jeunes chercheurs en contrat de thèse, parmi lesquels 18 ont été recrutés au cours de l'année. Pendant la même période, 27 post-doctorants ont travaillé au sein de l'Institut, dont 12 sont arrivés en 2004.

Répartition par sexe



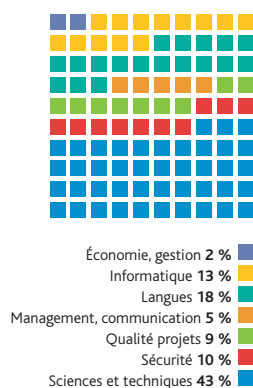
Répartition par catégorie socioprofessionnelle





INSER, logiciel de gestion de la formation.

Répartition des heures de formation 2004 par domaine



Dans le cadre de stages, l'IRSN a accueilli 107 étudiants de l'enseignement supérieur, dont 74 en troisième cycle universitaire ou provenant d'écoles d'ingénieurs.

L'Institut a signé huit nouveaux contrats d'apprentissage et deux contrats de qualification. Ces jeunes préparent surtout des diplômes de technicien supérieur ou d'ingénieur dans les domaines de l'électronique, de la chimie et de l'informatique.

La formation professionnelle continue

La formation professionnelle continue contribue au développement des compétences nécessaires à l'exercice des métiers de l'Institut. 40 000 heures de formation ont été dispensées en 2004, pour un

montant de frais pédagogiques de 1 150 000 euros. Deux points particuliers doivent être soulignés pour 2004 :

- la mise en place d'un nouveau logiciel de gestion de la formation : l'acquisition et l'installation, au deuxième semestre 2004, d'un logiciel dédié ont permis de préparer de façon plus efficace le recensement des besoins de formation pour 2005. Des actions de formation à l'utilisation centralisée et décentralisée de ce logiciel ont été dispensées et seront poursuivies en 2005, notamment pour les besoins de reporting ;
- un renforcement des formations scientifiques et techniques : la part des actions de formation dans les domaines des sciences et techniques a représenté 40 % des heures de formation et 42 % des frais pédagogiques.



> Glossaire

[A]

Accident de criticité • Déclenchement incontrôlé d'une réaction de fission en chaîne au sein d'un milieu contenant des matières fissiles telles que l'uranium 235 ou le plutonium 239

ACT • *Advanced Communication Tool* - outil de travail en réseau, utilisé dans le cadre de SARNET

ADN • Accord européen pour le transport de marchandises Dangereuses par voie de Navigation extérieure (*European Provisions concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterway*)

AECL • *Atomic Energy of Canada Limited* - Énergie Atomique du Canada Limitée. Organisme de sûreté nucléaire canadien

AEN • Agence de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE

AFA 3GLr AA • *Advanced Fuel Assembly* (2^e génération d'assemblage) - nom donné à un certain type d'assemblage combustible

AFAQ • Association Française d'Assurance de la Qualité

AFSSAPS • Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

AIEA • Agence Internationale de l'Énergie Atomique

AJE • Association des Journalistes de l'Environnement

Alpha (α) • Rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisants mais très peu pénétrants. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation

AMANDE • Accélérateur pour la Métrologie et les Applications Neutroniques en Dosimétrie Externe (IRSN, Cadarache)

ANCLI • Association Nationale des Commissions Locales d'Information

ANDRA • Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs (France)

ANTHRO-SI • Prototype de système de mesure anthroporadiométrique permettant de déterminer rapidement les activités des radionucléides incorporés par un individu

Aplasie • Arrêt ou insuffisance du développement d'un tissu ou d'un organe

AREVA • Groupe industriel comprenant les sociétés AREVA T et D, COGEMA, FRAMATOME, FBFC, COGEMA logistics, ANP, TECHNICATOME et FCI

ARMINES • Association de recherche contractuelle, partenaire de grandes écoles d'ingénieurs

Assemblage combustible • Faisceau de crayons de combustible, reliés par une structure métallique, utilisé dans les réacteurs nucléaires

ASTEC • *Accident Source Term Evaluation Code* - système de logiciels scientifiques simulant le déroulement d'un accident de réacteur à eau avec fusion de cœur, de l'événement initiateur jusqu'au rejet de produits radioactifs hors enceinte de confinement. Il est développé conjointement par l'IRSN et la GRS

ASTRAL • ASsistance Technique en Radioprotection post-Accidentelle. Quantification des transferts d'éléments radioactifs dans le milieu agricole, après un accident nucléaire

ASTRID • *Assessment of Source Term for emergency Response based on Installation Data* - Évaluation du TERME SOURCE en cas d'accident à partir des données d'une installation

ATPu • Atelier de Technologie du Plutonium (COGEMA)

ATUe • Atelier de Traitement de l'Uranium enrichi

AVN • Association Vinçotte Nucléaire (Belgique)

[B]

B₄C • Carbure de Bore utilisé comme absorbant neutronique dans les barres de commande dont sont munis les réacteurs les plus récents du parc français ainsi que les réacteurs bouillants en service en Europe

BADIMIS • BAs de Données Informatisée relative à la MIs en Suspension de radionucléides

BAM • *BundesAnstalt für Materialforschung und -prüfung* (Allemagne) - Institut fédéral de recherche et de contrôle des matériaux

BARRACUDA • Programme dédié à la future génération de sous-marins d'attaque nucléaires français

BECARRE • Essais de dégradation de Barres En Carbure de boRe et RELâchements associés

Becquerel (Bq) • Unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour la radioactivité. Le Becquerel est égal à une désintégration par seconde

BERD • Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement

Bêta • (symbole β) Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou un simple feuille d'aluminium suffisent à les arrêter

Biocinétiques • Désigne l'ensemble des cinétiques d'accumulation et d'excrétion d'un élément dans un organisme

BLEVE • *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion* - Explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide

BORIS • Biodisponibilité des radionucléides dans le sol. Projet européen dont le but est d'étudier le comportement de radionucléides dans d'anciens complexes d'armement nucléaire russes, où ont été injectés en profondeur des déchets radioactifs liquides

BWR • *Boiling Water Reactor* - REB - Réacteur à eau bouillante

> Glossaire

[C]

CABRI • Réacteur d'essais concernant la sûreté du combustible utilisé par l'IRSN

CABRI-CIP • CABRI International Program avec une boucle à eau

CABRI REP-Na • Réacteur à eau avec une boucle à sodium

CALIBAN • Réacteur expérimental (CEA-Valduc), qui permet de produire des impulsions intenses de neutrons et de rayonnements gamma de fission

Callovo-Oxfordien • Couche de roche sédimentaire de l'époque du Jurassique (160 millions d'années) qui est la couche étudiée dans le laboratoire de Bure

CAMARI • Certificat d'Aptitude à Manipuler des Appareils de Radiographie ou de radioscopie Industrielle

CANEL • Installation expérimentale d'instrumentation de radioprotection permettant de reconstituer des spectres de neutrons analogues à ceux qui sont relevés aux postes de travail dans les installations (IRSN, Cadarache)

CARMELA • Programme de recherche de l'IRSN sur les incendies dans les installations nucléaires visant à améliorer les connaissances sur les feux d'armoires électriques

CARMELO • Combustion Armoires Électriques essais gLOBaux

CAROL • Camargue-Rhône-Languedoc, projet d'étude de la répartition des radionucléides artificiels dans la région Bas-Rhône

CARTORAD • Logiciel de représentation CARTOgraphique des mesures de RADioactivité

CASTEAUR • Calcul Simplifié des Transferts dans les cours d'EAUX Récepteurs • Calcul simplifié des transferts d'éléments

radioactifs dans les cours d'eaux récepteurs pour les études d'impact des rejets accidentels comme des rejets de routine des installations du cycle du combustible

CATHARE • Code de calcul avancé de thermohydraulique pour les études du comportement des réacteurs à eau sous pression en situation accidentelle

CATHARE-SIMU • Version du code CATHARE adapté pour le simulateur SIPA

CCE • Commission des Communautés Européennes

CDI • Contrat à Durée Indéterminée

CE • Commission Européenne

CEA • Commissariat à l'Énergie Atomique

CEI • Commission Électrotechnique Internationale

Cellules hématopoïétiques • cellules où se forment les globules rouges

CENELEC • CEntre de Normalisation ÉLECtronique

CERCA • Compagnie pour l'Étude et la Réalisation de Combustibles Atomiques (Romans - Isère)

CESAR • Logiciel du système ASTEC, simulant la thermohydraulique des circuits primaire et secondaire d'un réacteur à eau

Césium • (Cs, numéro atomique 55) Métal rare et toxique dont les caractéristiques sont comparables à celles du potassium

CHIP • Programme expérimental sur la « Chimie de l'Iode dans le circuit Primaire » d'un REP lors d'un accident de fusion du cœur

CHRONIC RAD EPID • Projet de recherche dans le cadre du 6e PCRD qui traite de l'épidémiologie des cancers associés aux expositions chroniques à des rayonnements ionisants

CHSCT • Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail

CICNR • Comité Interministériel pour la gestion des Crises Nucléaires et Radiologiques

CIEMAT • Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Technologicas (Madrid - Espagne)

CIP • Programme cadre à caractère international pour la compétitivité et l'innovation

CIPR • Commission Internationale de Protection Radiologique

CIRC • Centre International de Recherche sur le Cancer

Circuit primaire • Circuit fermé constitué par un ensemble d'appareils assurant la circulation du fluide caloporteur chargé d'extraire la chaleur dégagée par le cœur d'un réacteur

CIREA • Commission Interministérielle des RadioÉléments Artificiels

CIS bio international • Société de développement Industriel et Commercial des technologies biomédicales

CLI • Commission Locale d'Information

CMS • Côte Majorée de Sécurité

CNAM-TS • Caisse Nationale d'Assurance Maladie - Travailleurs Salariés

CNES • Centre National d'Études Spatiales (France)

CNRS • Centre National de la Recherche Scientifique (France)

COFRAC • COmité FRançais d'ACcréditation

COGIC • Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises

Combustible nucléaire • Matière fissile (capable de subir une réaction de fission) utilisée dans un réacteur pour y développer une réaction nucléaire en chaîne. Après utilisation dans un réacteur nucléaire, on parle de combustible irradié

CONRAD - CONSéquences RADiologiques - Logiciel de simulation de la dispersion de rejets accidentels des radionucléides dans l'atmosphère, et de l'impact à court terme

COMURHEX - Société pour la CONVersion de l'URanium en métal et HEXafluorure

CORE - COopération pour la REhabilitation des conditions de vie dans les territoires contaminés, programme concernant 15 villages biélorusses, financé par le PNUD, la Banque mondiale, la CE, les représentations diplomatiques à Minsk et le Bélarus. Les opérateurs de CORE sont Médecins du Monde, Patrimoine sans Frontières, Université de Caen, Institut national d'agronomie Paris-Grignon, IRSN, CEPN, le ministère de l'agriculture français, FERT, À tous vents du monde, Mutadis

COWAM 2 - Community Waste Management 2, programme de recherche signé dans le cadre du PCRD6, coordonné par Mutadis et auquel l'IRSN participe. Le programme vise à l'amélioration de la gouvernance de la gestion et du stockage des déchets radioactifs en Europe

CPHR - *Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones* - Centre de protection et d'hygiène contre les radiations. Unité scientifique et technique de l'Agence pour l'énergie nucléaire, basée à la Havane

CRIS - Centre de Ressources en Information Scientifique de l'IRSN

CRISTAL - Nouveau formulaire français de criticité développé en collaboration par l'IRSN, le CEA et la COGEMA. Il a pour objectif l'évaluation du risque de criticité dans toutes les installations du cycle du combustible nucléaires et les emballages de transport mettant en œuvre des matières fissiles

Criticité - Risque de phénomènes de fission incontrôlés dans les matériaux fissiles

CRSSA - Centre de Recherches du Service

de Santé des Armées

CTB - Centre de Traitement des Brûlés à l'hôpital Percy, Clamart

CTC - Centre Technique de Crise de l'IRSN

CTGF/CCN2 - *Connective Tissue Growth Factor* - Facteur de croissance du tissu conjonctif

CTHEN - Centre Technique d'Homologation des Équipements Nucléaires

CTHIR - Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection

COGEMA - Compagnie GÉNérale des MATières nucléaires (France)

CRPPH - *Committee on Radiation Protection and Public Health* (AEN) - Comité de protection radiologique et de santé publique

[D]

DAM - Direction des Applications Militaires du CEA

DARPMI - Direction de l'Action Régionale et des PMI

DATANET - Réseau de bases de données expérimentales de SARNET

DATARAD - Base de données des mesures de radioactivité

DCN - Société DCN, anciennement Direction des Constructions Navales de la DGA

DDASS - Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DDSC - Direction de la Défense et de la Sécurité Civile (ministère de l'Intérieur)

DECOVALEX - *DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments*

DEND - Direction de l'Expertise Nucléaire de Défense (IRSN)

DGA - Direction Générale pour l'Armement

DGAC - Direction Générale de l'Aviation Civile

DGSNR - Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection

DISCO - Programme expérimental allemand sur le chauffage direct de l'enceinte de confinement d'un réacteur lors d'une éjection de corium hors cuve - Banc d'essais de DISpersion de CONtamination (IRSN - Saclay)

DISPRO - DISpersion en champ PROche

DIVA - Dispositif expérimental pour l'Incendie, la Ventilation et l'Aérocontamination

DM1 - Décision Modificative n°1 du budget de l'IRSN

Dosimétrie - Détermination, par évaluation ou par mesure, de la dose de rayonnement (radioactivité) absorbée par une substance ou un individu

DOSMAX - *DOSimetry of aircrew exposure during Solar MAXimum* - Dosimétrie de l'exposition des personnels navigants en période maximum du cycle solaire. Programme de recherche dans le cadre du PCRD5 auquel l'IRSN a participé

DPPR - Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques majeurs du ministère de l'écologie et du développement durable

DRASS - Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

DRH - Direction des Ressources Humaines

DRIRE - Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

DRT - Direction des Relations du Travail

DSND - Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la Défense

DTI - Dose Totale Indicative

[E]

ECORAD • Congrès international mêlant écotoxicologie et radioactivité

EDF • Électricité de France

EDZ • *Excavation Disturbed Zone* - Zone endommagée par l'excavation

EMRAS • *Environment Modelling for Radiation Safety* - Modélisation environnementale de radioprotection

Enceinte de confinement ou du bâtiment du réacteur • Enceinte étanche en béton, contenant la cuve du réacteur, le circuit primaire, les générateurs de vapeur ainsi que les principaux auxiliaires assurant la sûreté du réacteur

ENUSA • *Empresa Nacional del Uranio, SA* (Espagne) - Organisme nucléaire espagnol - (Industrias Avanzadas S.A.)

ENVIRHOM • Programme de recherche de l'IRSN qui vise à étudier les processus d'accumulation des radionucléides et les effets biologiques induits, lors de cette accumulation, chez les organismes vivants du monde végétal, animal et de l'homme en situation d'exposition chronique

EORTC • *European Organisation for Research and Treatment of Cancer* - Organisation européenne pour la recherche et le traitement du cancer

EOT • Échelon Opérationnel des Transports (IRSN)

EPICUR • Irradiateur au cobalt 60 permettant d'évaluer le comportement de l'iode sous radiolyse (Cadarache)

EPR • *European Pressurised Reactor* - Réacteur européen à eau pressurisée

EPRD • État Prévisionnel des Recettes et des Dépenses

EPRI • *Electric Power and Research Institute* (États-Unis)

EPS • Étude Probabiliste de Sûreté

EPS2 • Étude Probabiliste de Sûreté de niveau 2. L'IRSN réalise actuellement cette étude sur des réacteurs de 900 MWe

ERICA • *Environmental Risk for Ionising Contaminants Assessment and management*

ES Konsult • Société de consultants, expertise en risque, sûreté, assurance qualité, (Suède)

ESTRO • *European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* - Société européenne de radiothérapie oncologique

EURANOS • *European approach to nuclear and radiological emergency management*

EURATOM • Communauté Européenne de l'énergie ATOMique

EURODIF • Usine EUROpéenne d'enrichissement de l'uranium par DIFFusion gazeuse (COGEMA, Pierrelatte - France)

EUROFAB • Le projet dénommé EUROFAB (pour la FABrication en EUROpe) s'inscrit dans le cadre du programme d'élimination du plutonium militaire russe et américain déclaré en excès des besoins de défense

EUROSTRATAFORM • *EUROpean margin STRATA FORMation* - Processus actuel de formation des strates sédimentaires sur les marges continentales. Programme de recherche du 5^e PCRD

EVIDOS • *EValuation of Individual DOSimetry in mixed neutron-proton fields* - Programme de recherche financé par la Communauté européenne, dans le cadre du PCRD5

EXTREME • Programme de recherche visant à étudier les conséquences des événements climatiques extrêmes sur les transferts de radioactivité dans les compartiments de l'environnement

[F]

FASSET • *Framework for ASsessment of Environmental ImpacT*

FBFC • Société Franco-Belge de Fabrication de Combustibles

FIRST • *Further Improvement of Radiotherapy of cancer through side effect reduction by innovative application of adult Stem cells transplantation for prevention and Treatment of deterministic radiation effects* - Amélioration de la radiothérapie du cancer conduisant à la réduction des effets secondaires par une application innovante de transplantation de cellules souches adultes pour la prévention et le traitement des effets déterministes du rayonnement

FLAMME_S • Logiciel développé par l'IRSN simulant de manière simplifiée l'évolution de feux de produits carbonés dans des installations composées de locaux confinés et ventilés mécaniquement

FLAMME_S/SIMEVENT • Logiciel FLAMME_S couplé au logiciel SIMEVENT qui simule un feu dans un ensemble de locaux reliés par un réseau de ventilation et par des portes

FLIP • Feux de Liquide en Interaction avec une Paroi

FPT-3 • Essai Phébus PF dédié à l'étude des effets du B4C sur la dégradation d'un cœur de réacteur et sur le relâchement des produits de fission

FS 65 900 • Emballage de transport de combustible MOX neuf

FzK • Forschungszentrum Karlsruhe - Centre d'études nucléaires allemand de haut niveau

[G]

GALICE • Nom d'un mode de gestion

du combustible sur les centrales françaises

Gamma • (symbole γ) Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration de radionucléides. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger

GATeL • Génération Automatique de Tests à partir d'une description Lustre

GEIE • Groupement Européen d'Intérêt Économique

GIF • *Generation IV International Forum*

GLP-2 • *Glucagon-Like Peptide*

GP • Groupe Permanent

GPL • Gaz de Pétrole Liquéfié

GPR • Groupe Permanent d'experts pour les Réacteurs nucléaires

GPU • Groupe Permanent d'experts pour les Usines

GRNC • Groupe Radioécologie du Nord-Cotentin

GRS • Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (Allemagne)

GWj/t • Unité du taux de combustion du combustible. Giga Watt jours par tonne de combustible. Unité usuelle donnant le niveau d'irradiation des assemblages, c'est-à-dire de l'énergie extraite de l'assemblage en réacteur par tonne d'uranium initial

[H]

HAEA • *Hungarian Atomic Energy Authority* - Autorité de sûreté nucléaire hongroise

HA VL • Haute Activité à Vie Longue

HDR • Habilitation à Diriger des Recherches

HFD • Haut Fonctionnaire de Défense du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

HTR/VHTR • High Temperature Reactor/Very High Temperature Reactor (Royaume-Uni)

[I]

ICARE-CATHARE • Logiciel qui permet de décrire finement la dégradation du cœur d'un réacteur jusqu'à la rupture de la cuve lors d'un accident avec fusion du cœur

ICPE • Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

ICSBEP • *International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project*

ICST • Ingénierie de la Connaissance Scientifique et Technique

IFA • Initiative Franco-Allemande pour Tchernobyl

IFREMER • Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

IGR • Institut Gustave-Roussy (France)

Îlot nucléaire • Ensemble englobant la chaudière nucléaire et les installations relatives au combustible, ainsi que les équipements nécessaires au fonctionnement et à la sécurité de cet ensemble

INB • Installation Nucléaire de Base

INBS • Installation Nucléaire de Base classée Secrète

INERIS • Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (France)

INVS • Institut de Veille Sanitaire (France)

IPPAS • *International Physical Protection Advisory Service* - Service consultatif international sur la protection physique

IPS 47 • *International Standard Problem* de l'OECD/CSNI consacré à la réalisation de calculs sur les essais THAI, réalisés en Allemagne, et TOSQAN

IPSN • Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (France)

IRM • Imagerie par Résonance Magnétique

IRMA • IRradiation MATériaux • cellule d'irradiation au cobalt 60, moyen d'essai dans le domaine de la tenue à la dose et/ou débit de dose (IRSN - Saclay)

IRPA • *International Radiation Protection Association* - Association internationale de radioprotection

IRSN • Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (France)

ISIS • Logiciel de calcul simulant de manière détaillée l'évolution d'un feu, des gaz, des fumées et des structures dans un local confiné et ventilé de géométrie quelconque

ISO • *International Standard Organisation* - Organisation internationale de normalisation

ISO 9001 • Norme européenne du système de management et de la qualité

Isotopes • Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1200 isotopes créés artificiellement

IST • Information Scientifique et Technique

IUR • *International Union of Radiology* - Union internationale de radioécologie

[J]

JO • Journal Officiel

[K]

kV • kiloVolt

K2-R4 • Abréviations concernant la tranche 2 de la centrale ukrainienne de Khmelnytsky

et la tranche 4 de la centrale ukrainienne de Rovno

[L]

LERISS • Laboratoire d'Étude et de Recherche en Instrumentation Signaux et Systèmes

LFI • Loi de Finances Initiale

LMND • Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie des Neutrons (IRSN, Cadarache)

[M]

M5 • Type de gainage de combustible à eau sous pression

MARN • Mission nationale d'Appui à la gestion du Risque Nucléaire

Matières nucléaires • Sont ainsi dénommées les matières qui pourraient être utilisées pour fabriquer un engin explosif nucléaire. Elles sont définies à partir de leurs caractéristiques fissiles (pour un engin de fission), fusibles (pour une bombe thermonucléaire), ou fertiles (capacité à produire des matières fissiles ou fusibles). La législation française en retient six : plutonium, uranium, thorium, tritium, deutérium et lithium 6 (le deutérium et le lithium 6 ne sont pas radioactifs)

MAVL • Moyenne Activité à Vie Longue

MCNP • (Monte Carlo N-Particle Transport). Logiciel Monte Carlo de simulation du transport de différentes particules : neutrons, photons, électrons, couplage neutron/gamma. Ce code, développé à Los Alamos (USA) est l'équivalent du code TRIPOLI-4, développé par le CEA (France)

MEDD • Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

MEDEC • Salon de la MÉDECine (France)

MEDICIS • Logiciel du système ASTEC simulant l'ablation du radier par un cœur de réacteur fondu

MELODIE • Modèle d'Évaluation à LOnge terme des Déchets Irradiants Enterrés

MELOX • Usine de production de combustible MOX (COGEMA Marcoule - France)

Mésenchymateux • Relatif au tissu conjonctif embryonnaire

mGy • Milli Gray - unité de dose de rayonnement absorbée du système international

MIMAUSA • Mémoire et Impacts des Mines d'urAniUm Synthèse et Archives

MORET • Logiciel Monte Carlo de simulation du transport des neutrons (approximation multigroupe) pour calculer le facteur de multiplication effectif (Keff) de systèmes complexes à trois dimensions.

MOX • Combustible d'oxyde d'uranium (naturel ou appauvri) et de plutonium

MOZART • Essais analytiques pour étudier la cinétique d'oxydation des gaines sous air

mSv • Milli Sievert - unité dérivée d'équivalent de dose du système international

MWe • Mégawatt électrique

[N]

N4 • Palier N4, palier de réacteurs à eau sous pression de puissance 1450 MWe en exploitation par EDF

NAIMORI • Projet européen « *Novel Approaches In the Management Of the Radiation Injury* » - Approches nouvelles dans la gestion des lésions radio-induites

NF-PRO • Near Field PROcesses

NNSA-NSC • National Nuclear Safety

Administration (États Unis) - *Nuclear safety center* (Chine)

NNC • *National Nuclear Corporation* - Société de consultants en services nucléaires (Royaume-Uni)

NOD-SCID • Lignée de souris immuno-déficientes (*Non Obese Diabetic/Severe Combined ImmunoDeficiency*)

NRC • *Nuclear Regulatory Commission* (États-Unis) - Commission de sûreté nucléaire américaine

NRG • *Nuclear Research and consultancy Group* (Pays-Bas)

NRPB • *National Radiological Protection Board* (Royaume Uni)

NSA • *Nuclear Security Agency* (États Unis)

NSRR • *Nuclear Safety Research Reactor* (Japon)

NUPEC • Organisme de sûreté nucléaire japonais - *NUclear Power Engineering Corporation* (Japon)

[O]

OCDE • Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OCDE/AEN • Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE

OECD/CSNI • *Organisation for Economic Cooperation and Development/Committee on the Safety of Nuclear Installations*

OEDIPE • Outil d'Évaluation de la Dose Interne PErsonnalisées

OIAC • Organisation pour l'Interdiction des Armes Chimiques

OMS • Organisation Mondiale de la Santé

OPERA • Observatoire PErmanent de la RAdioactivité dans l'environnement de l'IRSN

OPRI • Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (France)

ORME • Observatoire Régional Méditerranéen de l'Environnement

ORPHEE • Réacteur nucléaire expérimental de type piscine d'une puissance nominale de 14 MWth (CEA Saclay, France)

[P]

P4 • Palier constitué de huit réacteurs à eau sous pression de 1300 MWe de Paluel, Flamanville et Saint-Alban

P'4 • Palier constitué de douze réacteurs à eau sous pression de 1300 MWe les plus récents du parc français

PACA • Région Provence - Alpes - Côte-d'Azur (France)

PANAME • Méthode développée par l'IRSN pour la quantification de la fiabilité des actions de conduite

PASEPRI • Plans d'Actions pour la Surveillance de l'Exposition des Patients aux Rayonnements Ionisants

PATRAM • *International symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials*

PCO • Poste de Commandement Opérationnel

PCR • Personne Compétente en Radioprotection

PCRD • Programme Cadre de Recherche et de Développement (Communauté européenne)

PCRD-T • Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique

PHARE • *Poland-Hungary Assistance for Reconstruction of the Economy* - Programme européen d'assistance à la restructuration des économies de la Pologne et de la Hongrie

PHEBUS-PF • Programme expérimental de l'IRSN sur la dégradation d'un cœur de

réacteur nucléaire et sur le relâchement des Produits de Fission (PF)

PHEBUS FPT3 • Essai FPT-3 du programme Phébus PF

PHENIX • Réacteur à neutrons rapide de 250 MWe

PIC • Programme d'Intérêt Commun

PICSEL • Propagation de l'Incendie de Combustible Solide dans un Environnement Laboratoires et usines

PIV • *Particle Image Velocimetry* - Technique d'imagerie de particules

PKL • *Primär Kreislauf* - Boucle d'essai utilisée pour les phénomènes de dilution inhérente

Plutonium • (Pu, numéro atomique 94). Élément chimique transurannique. L'isotope 239 a une périodicité de 24 110 ans

PN3 • Dosimètre « détecteur de traces » pour les neutrons

PNNL • *Pacific Northwest National Laboratory* (États Unis)

POLLUTEC • Salon international des équipements, des technologies et des services de l'environnement pour l'industrie

PPI • Plan Particulier d'Intervention

PRISME • PPropagation d'un Incendie pour les Scénarios Multi-locaux Élémentaires

PUI • Plan d'Urgence Interne

PWR • *REP, Pressurized Water Reactor*

[Q]

QUENCH • Programme expérimental allemand destiné à étudier la production d'hydrogène lors de la dégradation du cœur d'un réacteur

[R]

Radier • Fondation des réacteurs des centrales nucléaires

Radioactivité • Propriété de certains éléments chimiques dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants

Radioélément • Élément radioactif naturel ou artificiel

Radionucléide • Isotope radioactif d'un élément

Radioprotection • Ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs utilisant des sources de rayonnements ionisants

RASSC • *RAdiological Safety Standards Committee* (AIEA) - Comité des normes de sûreté radiologique

RBMK • Réacteurs graphite de l'ex-Union soviétique

RECI • RECombineur d'Iode - dispositif expérimental pour évaluer l'influence des recombineurs sur la chimie de l'iode dans l'enceinte (IRSN, Saclay)

REMOTRANS • *REMOobilisation, long distance TRANsport and bioavailability of radionuclides in marine sediments*

REP • Réacteur à Eau sous Pression

REP-Na • Programme expérimental sur l'installation CABRI-boucle Na destiné à étudier le comportement du combustible lors d'un transitoire de puissance

RES • Réacteur d'Essai

RHF • Réacteur à Haut Flux de l'institut Laue Langevin (France)

RIA • *Reactivity Insertion Accident* - Accident d'insertion de réactivité

RNG • Réacteur de Nouvelle Génération

RNIPP • Répertoire National Individuel des Personnes Physiques

RPE • Résonance Paramagnétique Électronique (France)

[S]

SAE • Statistiques Annuelles des Établissements de santé publics et privés

SARA • Surveillance Automatisée de la Radioactivité des Aérosols

SARNET • *Severe Accident Research Network of excellence* - Réseau d'excellence européen sur les accidents de réacteur à eau avec fusion du cœur, projet du 6^e PCRD

SATURNE • Installation expérimentale avec hotte d'extraction destinée à étudier l'évolution d'un feu

SC 45B • « Exercice SECNUC » exercice « Sécurité nucléaire »

SCANAIR • Logiciel de calcul d'un transitoire de type RIA développé par l'IRSN

SDMV • Synchronised Distributed Mapped Values

SEBIM • Marque de vannes et de soupapes

SECNUC • SÉCurité NUCléaire

Seveso • L'accident de Seveso, survenu en Italie en 1976, a donné son nom à une directive européenne relative aux risques d'accidents industriels

SFR • Société Française de Radiologie

SFRP • Société Française de RadioProtection

SGDN • Secrétariat Général de la Défense Nationale

SICN • Société Industrielle du Combustible Nucléaire (CEAI) (usine de fabrication de combustibles nucléaires)

SIEVERT • Système d'Information et d'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique

SIGIS • Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire national des Sources de rayonnements ionisants

SIGMA • Bloc de graphite contenant des sources radioactives, produisant un champ « réaliste » de neutrons à forte composante thermique (IRSN, Cadarache)

SILOE • Réacteur de type piscine (CEA/Grenoble)

SILOETTE • Réacteur d'enseignement de type piscine (CEA/Grenoble)

SIMEVENT • Logiciel de simulation de l'aérodynamique dans un réseau de ventilation développé en collaboration par l'IRSN, SGN et COGEMA

SIMO • Société Industrielle des Minerais de l'Ouest (CEA)

SIPA • Simulateur d'accident dans les réacteurs à eau sous pression développé et exploité par l'IRSN

SIPA/SCAR • « *Simulator CATHARE Release* », projet réalisé en partenariat entre l'IRSN et EDF, qui vise à intégrer le code de thermohydraulique CATHARE 2 dans le simulateur de l'IRSN SIPA 2

SISERI • Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants

SKI • *Swedish nuclear power inspectorate* - Autorité de sûreté Suédoise

SNA • Sous-marin Nucléaire d'Attaque

SNCF • Société Nationale des Chemins de Fer français

SNLE • Sous-marin Nucléaire Lanceur d'Engins

SNM • Système Nucléaire Militaire

SNR • *Schneller Brutreaktor*

SNRCU • *State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine* - Autorité de sûreté ukrainienne

SSD • Service de Sûreté des Déchets radioactifs de l'IRSN

SSI • *Swedish radiation protection authority* - Autorité de radioprotection Suédoise

SSTC • *State Scientific and Technical Center* (Ukraine)

STARMANIA • Station pour les Transferts d'Aérocontamination et les Résistances Mécaniques Appliquées aux Nuisances Incidentelles et Accidentelles (IRSN Saclay, France)

STE • Spécifications Techniques d'Exploitation, Station de Traitement des Effluents

STUK • *Stähtelyturvakeskus - Radiation and nuclear safety authority* (Finlande) - Autorité de sûreté nucléaire finlandaise

SUNSET • Outil de calculs statistiques qui, couplé à un logiciel simulant des phénomènes physiques, permet d'étudier sur des réponses calculées choisies l'effet de l'incertitude sur certains paramètres et données d'entrées du logiciel

Sûreté nucléaire • Ensemble des dispositions prises à tous les stades de la conception, de la construction du fonctionnement et de l'arrêt définitif des installations nucléaires pour prévenir les accidents et en limiter les effets

SYLVIA • SYstème de Logiciels pour l'étude de la Ventilation, de l'Incendie et de l'Aérocontamination

SYMBIOSE • *Systemic approach for Modelling the fate of chemicals in BIOSphere and Ecosystems*

[T]

TACIS • *Technical Assistance for Commonwealth of Independent States* - Programme européen d'assistance à la restructuration des économies des nouveaux États indépendants

Taux de combustion • Énergie thermique produite par les fissions nucléaires dans une unité de masse combustible. Il est mesuré en Mégawatts-jour par tonne (MWj/t)

THE • Très Haute Efficacité

TONUS • Code développé par le CEA pour le compte de l'IRSN mettant en œuvre des modèles qui régissent la répartition de l'hydrogène dans l'enclinte

TOSQAN • TONuS Qualification ANalytique - Enceinte expérimentale permettant de reproduire à l'échelle réduite un scénario d'accident lié au risque hydrogène dans une enceinte de réacteur nucléaire. (IRSN Saclay, France)

TPO • ThromboPOïétine

Tranche • Unité de production électrique comportant une chaudière et un groupe turbo-alternateur. Une tranche nucléaire se caractérise essentiellement par le type du réacteur et la puissance du groupe turbo-alternateur

TranSAS • *Transport Safety Appraisal Service*

TRG • *Translational Research Group*

TVO • *Teollisuuden Voima Oy* - Compagnie d'électricité finlandaise

[U]

UDG • Usines de Diffusion Gazeuse (INBS Pierrelatte)

UF₆ • Hexafluorure d'uranium

UIR • Union Internationale de Radioécologie

UNSCEAR • *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* - Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

UOX3 • Combustibles avec une teneur

initiale en U235 de 4,5 % et un taux de combustion de 60 GWj/t

UP1 • Première usine de traitement des combustibles nucléaires usés en vue de leur recyclage en France (COGEMA Marcoule, France)

UP2-800 • Usine de traitement de combustibles nucléaires irradiés implantée sur le site de La Hague (COGEMA France)

UP3-A • Usine de traitement de combustibles nucléaires irradiés implantée sur le site de La Hague (COGEMA France)

UPRES • Unité Propre de Recherche de l'Enseignement Supérieur

URENCO • *URanium ENriched Company* (consortium européen)

USDOE • *US Department Of Energy* (Washington DC, USA)

USNRC • *US Nuclear Regulatory Commission* - Commission de sûreté nucléaire américaine

UO₂ • Oxyde d'uranium

[V]

VATESI • Autorité de sûreté lituanienne

VD3 900 • Troisièmes visites décennales des tranches de 900 MWe

VERCORS • Programme expérimental co-financé par l'IRSN sur le relâchement des produits de fission lors de la dégradation de crayons combustibles (programme terminé)

VERDON • Validation Expérimentale du Relâchement et des Dépôts préCOces pour les Nouveaux combustibles. Expérience en cours de préparation par le CEA sur le relâchement des produits de fission

VHTR • *Very High Temperature Reactor*

V/HTR-IP • *Very High Temperature Reactor - Integrated Project*

Voxel • Volume élémentaire dans une structure tridimensionnelle numérisée

VUJE • Autorité de sûreté slovaque

VVER • *Vodo Vodiannoï Energitschesky Reactor* - Réacteur à eau sous pression de conception soviétique, dont le principe de fonctionnement ressemble à celui des réacteurs à eau sous pression occidentaux (REP) (Russie)

[W]

WASSC • *Waste Safety Standards Committee* (AIEA)

WISE • *World Information Service on Energy* (association)

[X]

Xénobiotique • Molécules de faible masse moléculaire étrangères à l'organisme (médicaments, polluants de l'environnement, composés d'origine alimentaire, etc.)

> Table des matières

1. Actualité, stratégie, et organisation	02
> Avant-propos de J.-F. Lacronique et J. Repussard	04
> Avant-propos de M. Brière	06
> Les missions de l'IRSN	07
> L'IRSN en 2004 : bilan et perspectives	08
> Faits marquants	10

> Organisation, l'IRSN en bref	14
> L'activité 2004 en quelques chiffres	15
> Le conseil d'administration	16
> Le conseil scientifique	17
> L'organigramme	18
> Les implantations de l'IRSN	19

2. Activités en 2004	20
■ Présentation des programmes	22
■ Recherche et missions de service public	28
> Définition et mise en œuvre de programmes de recherche nationaux et internationaux	30
• Appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation	30
• Recherches sur le vieillissement des REP	31
• Le combustible et sa gestion en fonctionnement normal et accidentel	31
[Modélisation du comportement du combustible irradié en cas d'accident d'insertion de réactivité (RIA)]	32
• Les travaux de modification de l'installation CABRI	34
• Travaux de recherche dans le domaine des accidents graves avec fusion du cœur	35
[Programme TERME SOURCE]	36
[FPT-3 : dernier essai du programme PHÉBUS-PF]	38
[Programme TOSQAN]	39
• Sûreté des usines, des transports et du démantèlement	40
[CRISTAL V1.0 : la nouvelle version du formulaire CRISTAL]	41
• Les travaux de recherche dans le domaine des déchets	43
[Innovations dans le logiciel MÉLODIE]	44
• Intégration des facteurs humains dans les processus de conception	46
• Travaux de recherche dans le domaine de l'incendie et de l'aérodispersion	46
[Comportement de l'hexafluorure d'uranium (UF ₆)]	47
[Programme expérimental PRISME]	48
[Programme expérimental PICSEL]	49
[Plate-forme logicielle SYLVIA]	50
• Les recherches sur les séismes	50
• Les recherches en radioécologie	51
[Lancement du programme européen ERICA]	51
[Lancement du projet EXTREME]	52
[Le congrès ECORAD]	53
• Les recherches en métrologie des radionucléides dans l'environnement	54
• Influence de la chronicité d'une exposition sur le comportement et la toxicité des radionucléides : le programme ENVIRHOM	55

• Travaux de recherche liés au radon	58
[Compréhension des mécanismes de concentration du radon dans les bâtiments]	58
[Utilisation du radon comme sonde hydrologique]	59
• Épidémiologie des travailleurs du nucléaire	60
[Coordination de projets européens en épidémiologie des rayonnements ionisants]	61
• Amélioration de la radioprotection	62
[Projet ANTHRO-Si]	63
[Rayonnement cosmique : le projet DOSMAX]	65
• L'installation AMANDE	66
• La radioprotection des patients : conséquences d'une radiothérapie sur le tissu sain présent dans le champ d'irradiation	67
[Ouverture européenne en radioprotection médicale]	67
• Accidents d'irradiation et de contamination	68
[Amélioration du diagnostic du syndrome cutané d'irradiation]	69
[Projet européen FIRST]	72
• Gestion des situations post-accidentelles	73
• Une coopération internationale pour une meilleure maîtrise des risques radiologiques et nucléaires	73
[Conférence internationale sur les résultats de l'IFA]	74
[Développement de la coopération entre l'IRSN et la NRC]	75
[Fin du projet européen ASTRID]	76
• Nouvelles recommandations en matière de radioprotection	77
> Contribution à la formation en radioprotection	78
• Une activité au service de la prévention des risques et de leurs conséquences possibles	78
[Formation sur le radon]	79
> Veille permanente en matière de radioprotection	81
• La surveillance radiologique de l'environnement	81
• Le suivi des sources de rayonnements ionisants	83
> Information du public	84
• Actions d'information et de communication	84
[Forum EUROSAFE 2004]	86

■ Appui et concours technique aux pouvoirs publics . . . 88

> Appui technique en matière de risque nucléaire et radiologique . . . 90

- Analyse de la sûreté des réacteurs . . . 90
 - [Incident à Fessenheim] . . . 91
 - [Incident à Cattenom] . . . 92
 - [Défaut d'isolement d'actionneurs de vannes] . . . 93
 - [Examen du retour d'expérience 2000-2002] . . . 94
 - [Réacteur EPR : collaboration avec la Finlande] . . . 95
 - [Sûreté du réacteur expérimental CABRI] . . . 96
 - Appui à l'analyse de sûreté des réacteurs en exploitation . . . 98
 - [Étude comparative des EPS appliquées aux événements significatifs pour la sûreté] . . . 99
 - Vieillesse des réacteurs à eau sous pression . . . 101
 - Combustible en fonctionnement normal et accidentel . . . 102
 - [Avis de l'IRSN sur le dossier « Parité MOX »] . . . 102
 - Examen des risques associés aux accidents graves de fusion de cœur . . . 104
 - [Radier de la centrale de Fessenheim] . . . 104
 - [Récupérateur de corium du réacteur EPR] . . . 105
 - Expertise de sûreté des réacteurs du futur au-delà d'EPR . . . 106
 - Sûreté des usines, des transports et du démantèlement . . . 107
 - Examen des dossiers de sûreté concernant les déchets et les résidus miniers et participation à la rédaction de textes réglementaires . . . 111
 - [Programme MIMAUSA] . . . 112
 - Fiabilité humaine et fiabilité organisationnelle . . . 114
 - [Intégration des facteurs humains dans la conception des modifications des centrales EDF] . . . 115
 - Protection des installations contre l'incendie . . . 116
 - [EPS incendie] . . . 116
 - Études d'impact en matière de radioécologie . . . 118
 - Risques associés aux séismes et aux inondations . . . 119
 - Surveillance de l'environnement . . . 120
 - [Mise en place du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement] . . . 120
 - Appui technique dans le domaine du radon . . . 121
 - Intervention et assistance en radioprotection . . . 122
 - Radioprotection des travailleurs . . . 122
 - Radioprotection dans le domaine médical . . . 124
 - [Examens radiographiques en médecine sportive] . . . 124
 - [Guide commun IRSN/AVN/GRS d'évaluation de sûreté] . . . 125
 - [Renforcement de la coopération avec les organismes chinois de sûreté et de radioprotection] . . . 126
 - [Accueil de stagiaires issus des organismes de sûreté chinois] . . . 127
- ### > Appui opérationnel en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique . . . 128
- Les situations d'urgence . . . 128

- [Gréements réels du CTC] . . . 129
- [Exercice de traitement des victimes d'un attentat radiologique] . . . 130
- [Exercice d'accident de transport de matières radioactives] . . . 131
- Appui à la gestion des situations post-accidentelles . . . 132
 - [Exercice de Pierrelatte] . . . 133
 - [Cd Rom « Éléments sur le risque nucléaire et sa gestion »] . . . 134
- Appui opérationnel en cas de crise . . . 135
 - [Projet de rénovation des moyens mobiles] . . . 135

■ Prestations contractuelles d'expertise, de recherche et de mesure . . . 136

> Prestations relatives à des exigences réglementaires . . . 138

- Contrôle radiologique des eaux destinées à la consommation humaine . . . 138
- Mesure de dépistage du radon . . . 138
- Prestations en radioprotection des travailleurs . . . 139
- Conformité des matériels et équipements . . . 140
 - [Tierces expertises non nucléaires] . . . 141

> Prestations non liées à des exigences réglementaires . . . 142

- Étude relative à la présence de radionucléides dans le réseau des eaux usées de l'agglomération toulousaine . . . 142
- Prestations en radioprotection opérationnelle . . . 143
- Prestations en radioécologie . . . 143
- Mode opératoire de mesure du radon . . . 144
- Prestations en dispersion des polluants . . . 144
 - [Études probabilistes de sûreté appliquées à des sites industriels] . . . 145
- Prestations en dosimétrie . . . 146
- Évaluation de la dose reçue par le fœtus lors d'un examen pour diagnostic chez une femme enceinte . . . 149
 - [Conseil et assistance aux professionnels de santé] . . . 149
- Collaborations avec les pays de l'Europe de l'Est . . . 151
 - [Assistance aux pays d'Europe de l'Est] . . . 151
- Expertise et assistance au profit de la société civile . . . 153

■ Expertise nucléaire de défense . . . 154

> Évaluation de la sûreté des systèmes nucléaires militaires, des installations nucléaires de base et des transports intéressant la défense . . . 156

- [Programme BARRACUDA] . . . 157

> Protection et contrôle des matières nucléaires et sensibles . . . 159

- [Impact du nouveau règlement Euratom sur le contrôle national] . . . 160
- [Protocole additionnel] . . . 163

> Protection des installations contre les actions de malveillance . . . 164

> Gestion des situations d'urgence d'origine malveillante . . . 166

- [Exercice de crise d'inventaire de matières nucléaires] . . . 167

3. Pilotage et support . . . 168

> Excellence scientifique et technique . . . 170

- Ingénierie de la connaissance scientifique et technique . . . 175
- Sécurité . . . 176

- Qualité : le projet Certification à l'IRSN . . . 178
 - [Renouvellement des accréditations pour l'analyse d'échantillons] . . . 178

> La communication . . . 180

> Ressources humaines et relations sociales . . . 184

COORDINATION ÉDITORIALE

Direction de la stratégie, du développement et des relations extérieures

COMITÉ ÉDITORIAL

SG/DAF : D.Demeillers
DESTQ : F. Bretheau
DEI : N. Chaptal-Gradoz
DPAM : B. Adroguer
DSR : A. Dumas

DSDRE : E. Mur
DCOM : M.L. de Heaulme, H. Fabre
DEND : J. Jalouneix, D. Franquard
DRPH : J. Aigueperse, J. Brenot
DSU : P. Cousinou, S. Clavelle

RÉDACTION

IRSN avec le concours de Camille Jaunet (La Clé des mots)

COORDINATION DE LA RÉALISATION

Direction de la communication

CONCEPTION GRAPHIQUE ET COORDINATION

 TraisCube

ASSISTANCE À LA RÉALISATION

LAO Conseil, ré(craie)action

IMPRESSION

OPAG

CRÉDITS PHOTOS

AREVA : Page 42 (schéma) ■ AREVA / Geoffroy Yann : Pages 40 (haut) et 103 ■ AREVA / Jean-Marie Taillat : Pages 113 (haut) et 156 ■ AREVA / Les films de Roger Leenhardt : Page 109 (haut) ■ CEA : Page 101 (bas et bandeau) ■ Claude Cieutat : Page 142 (haut) ■ Cogema / Jean-Marie Taillat : Page 110 ■ DGA (Direction Générale de l'Armement) : Page 157 (haut) ■ DR : Page 106 ■ Eric Couderc : Page 54 ■ F. Parozzi / CESI : Page 75 ■ GRS : Pages 74, 86 (bas) ■ Gunther Vincent : Pages 26 (milieu), 76, 94 (bas), 96 (haut), 97 (haut et bandeau), 99 (haut et bandeau), 102, 128 ■ IRSN : Pages 18, 25 (milieu), 26 (gauche), 38 (bas), 49 (bas), 53 (bas), 77, 108 (bandeau), 116 (bandeau), 117 (bas), 122, 127 (bas), 131 (bas), 142 (bas et bandeau), 145, 147, 152, 159-162, 163 (haut), 174 ■ IRSN / Claude Cieutat : Page 82 (haut) ■ Stéphane Jungers : 92, 103, 105, 106, 116, 129 (bas), 143, 152, 153 ■ KhNPP Photo : Page 151 ■ Marine nationale / Romain Veyrié : Page 154 ■ Médiathèque EDF / Claude Cieutat : Page 31 (droite) ■ Médiathèque EDF / Guillaume Lemarchal : Page 31 (gauche) ■ Médiathèque EDF / Guy Jaumotte : Page 93 (bas) ■ Médiathèque EDF / Marc Moreau : Page 104 (bas) ■ Médiathèque EDF / Mario Guerra : Page 164 ■ Médiathèque EDF / Philippe Brault : Page 95 (haut) ■ Médiathèque EDF / Serge Lohner : Page 91 ■ Mickaël Lafontan : Pages 2, 5, 18, 20, 22 (gauche et bandeau), 23 (gauche), 24 (gauche), 25 (gauche), 26 (droite), 28, 39 (bas et bandeau), 41, 42 (haut et bandeau), 44 (bas), 47, 53 (haut et bandeau), 58-61, 63, 64, 65 (droite), 67-72, 83 (silhouette), 88-90 (haut), 92, 93 (haut), 94 (haut), 99 (bas), 100, 104 (haut), 107, 109 (bas et bandeau), 114, 115, 123 (haut)-125, 126, 127 (haut et bandeau), 129 (bandeau), 130, 131 (haut et bandeau), 132, 133 (bas), 134 (haut), 136, 139, 140, 141 (haut), 146, 148, 149 (droite), 150, 157 (bandeau), 158, 163 (bas et bandeau), 165 (bas), 167 (gauche), 168, 183, 184, 186, 187, 188 (silhouette) ■ Olivier Seignette : Pages 6, 18, 22 (droite), 23 (milieu), 24 (milieu et droite), 25 (droite), 27 (droite), 30, 32-37, 38 (haut et bandeau), 39 (haut), 40 (bandeau), 43, 44 (haut et bandeau), 45, 46, 48, 49 (haut et bandeau), 50-52, 55-57, 62 (bandeau), 65 (gauche), 66, 78-81, 82 (bas et bandeau), 90 (bandeau), 94 (bandeau), 96 (bandeau), 97 (bas), 98, 101 (haut), 105, 111, 112, 117 (haut et bandeau), 118-121, 123 (bandeau), 133 (haut et bandeau), 134 (bandeau), 135, 138, 141 (bas), 143, 144, 149 (gauche), 165 (haut et bandeau), 170, 172, 173, 175-177, 179, 180, 184 ■ Olivier Seignette / Mickaël Lafontan : Pages 85 (bas) et 86 (haut) ■ SIRPA Air : Pages 23 (droite), 166 ■ SMO : Page 108 (haut) ■ Technicatome : Page 157 (bas) ■ Thomas Gogny : Pages 27 (gauche), 84, 85 (haut et bandeau), 87 ■ TVO : Page 95 (bas)

© Communication IRSN
N° ISSN : 1762-0600

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



Cahier financier du
rapport d'activité
2004



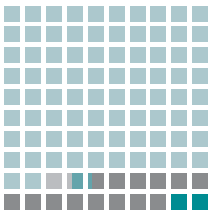


Didier Demeillers,
Directeur délégué aux Affaires financières

>Sommaire

- 04 > Rapport de gestion
- 08 > Compte de résultat
- 10 > Bilan
- 12 > Solde intermédiaire de gestion
- 13 > Capacité d'autofinancement
- 14 > Variation de la trésorerie
- 15 > Rapprochement des prévisions et des réalisations

Répartition
des ressources en 2004
(en M €)



- Subvention MEDD 201,9
- Subvention MINDEF 2,7
- Autres subventions 2
- Recettes propres 35,2
- Divers 3,8

Rapport de gestion

La loi n°2001-398 du 9 mai 2001 créant l'Agence française de sécurité sanitaire et environnementale a réuni par son article 5, au sein d'un établissement public industriel et commercial dénommé IRSN, une partie de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants et de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire.

1. Évolution de l'Institut

Après un **exercice 2002** d'une durée limitée à dix mois (du 28 février au 31 décembre) et n'intégrant pas les comptes de l'OPRI et de l'IPSN, l'**exercice 2003** avait marqué véritablement le démarrage comptable et financier de l'Institut avec une durée normale de douze mois et l'intégration, en bilan de clôture, des actifs et des passifs de l'OPRI et de l'IPSN. C'est également à la fin de l'année 2003 que la nouvelle organisation de l'Institut a été arrêtée. Elle a été transcodée dans le budget de l'Institut au début de l'année 2004 et ajustée à l'occasion de la DM1 de juin 2004. Cela a affecté l'ensemble de l'exercice et plus particulièrement certains investissements dont la réalisation a été retardée.

Par ailleurs, la mise en place du suivi par processus et le lancement d'une démarche en vue de la certification ISO 9001 version 2000 à l'échéance de 2007 marque une étape dans la démarche d'amélioration continue au sein de laquelle le management de l'Institut dans son ensemble insère son action.

En cohérence avec ces orientations en matière de qualité, des efforts importants ont été réalisés pour améliorer le pilotage budgétaire des activités, tant sur le plan de la prévision que sur le plan de la réalisation, avec un suivi plus fin des activités, en privilégiant une présentation budgétaire par donneur d'ordre. Cette

démarche de maîtrise économique et financière est complétée en 2005 par la mise en place d'un système d'information décisionnel, aujourd'hui en cours d'implantation, et le lancement d'une révision de la comptabilité analytique qui permettra d'affiner la pertinence des prix de revient.

L'**année budgétaire 2004** se caractérise, hors éléments exceptionnels, par :

- Le respect des équilibres présentés à l'approbation du conseil d'administration avec l'EPRD 2004.
- Un taux de réalisation du budget de 97,5 %, soit un écart de 7 M € correspondant essentiellement, d'une part à des décalages dans la réalisation de certains investissements, pour 2,5 M € ; d'autre part à une baisse des coûts et une moindre réalisation des ventes, à hauteur de 4 M €.

En fin de gestion, des éléments exceptionnels sont venus perturber les équilibres de l'exécution 2004 :

- Le non-versement par le MEDD de la contrepartie du déficit budgétaire consécutif au régime fiscal mis en place lors de la création de l'Institut, budgété dans l'EPRD à hauteur de 9,2 M € TTC.
- L'annulation, pour un montant de 1,5 M € TTC, du solde du produit à recevoir, constitué en 2002 pour un montant initial de 22,5 M €.

2. Analyse du compte de résultat

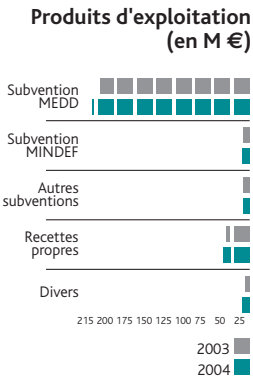
2.1. Les produits

2.1.1.

Les produits d'exploitation hors taxes sont en hausse de 10,1 M € par rapport à 2003 (+ 4,3 %). Ils s'élèvent à 245,6 M €, dont :

- 201,9 M € au titre de la subvention MEDD, soit l'intégralité, déduction faite de la TVA, de la dotation figurant en LFI, en augmentation de 3,8 M € par rapport à l'exercice précédent qui avait dû subir une annulation en cours d'année ;

- 2,7 M € au titre de la convention avec le ministère de la Défense, contre 2 M € en 2003 ;
- 2 M € au titre d'autres subventions, en particulier des collectivités locales, dont le niveau reste voisin d'une année sur l'autre ;
- 35,2 M € de ressources propres provenant des activités d'expertise ou de cofinancements de programmes de recherche. La baisse de ces ressources par rapport à la DM1, équilibrée par une diminution des dépenses à due concurrence, s'explique largement par les perturbations, liées d'une part à l'ajustement



de la réorganisation sur l'ensemble de l'année 2004, d'autre part aux incertitudes résultant de la fin, au 27/02/2005, de la période d'option fixée aux agents mis à disposition par le CEA. Cependant, cette source de financement est en hausse de 3,7 M € par rapport à la réalisation de l'année précédente, en conformité avec les orientations retenues en matière de diversification des ressources.

■ 3,8 M € de produits divers comprenant à hauteur de 3,3 M € l'annulation de charges à payer constituées sur les exercices antérieurs, de 0,1 M € des redevances liées à la propriété industrielle, de 0,4 M €, de produits divers de gestion courante.

2.1.2.

Le montant des **produits financiers** s'élève à 1,4 M € contre 1 M € en 2003. La DM1 prévoyait un niveau de 0,4 M €. La forte augmentation de ces produits s'explique par la discordance entre le versement régulier des subventions, qui constitue 85 % des ressources de l'IRSN, et la concentration des paiements en fin d'exercice, résultant en particulier des difficultés rencontrées dans le cadre de la séparation des activités de l'Institut de celles du CEA. La majoration des produits constatée, soit 1 M €, a été en totalité apportée à la consolidation du fonds de roulement.

2.1.3.

Les **produits exceptionnels**, d'un montant particulièrement élevé en 2003 (25,2 M €), reviennent en 2004 à un montant de 6,7 M €. Ils s'expliquent pour 6,5 M € par la part de subventions d'investissement virées au compte de résultat. Le solde, soit 0,2 M € correspond à diverses opérations de gestion courante.

Le total des produits de l'exercice 2004 est donc de 253,8 M € contre 261,7 M € pour l'année précédente, cette réduction provenant exclusivement d'opérations exceptionnelles.

2.2. Les charges

2.2.1.

Les **charges d'exploitation** de l'exercice sont en baisse de 15 M € par rapport à 2003 (- 5,8 %) à 246 M €.

■ Charge de personnel globale, incluant les salariés mis à disposition par le CEA : 102,3 M €, contre une prévision en DM1 de 104,5 M €. Cette réduction de

2,2 M € s'explique par les décalages intervenus dans les plans de recrutement et est à rapprocher de la non réalisation de 4 M € de prestations vendues.

■ **Impôts et taxes** : 4,1 M € contre 4,8 M € en 2003, dont 1,6 M € de taxes sur les rémunérations, et 1,3 M € constitués en une provision pour risques et charges dans la mesure où la méthode de détermination de la taxe professionnelle n'est pas encore connue. Cette évaluation a été revue à la baisse et justifie la diminution de ce poste d'une année sur l'autre.

■ **Amortissement** d'un montant de 13,6 M €, en baisse par rapport à la prévision de la DM1 compte tenu du retard pris par certaines opérations, et surtout **en forte baisse par rapport à la dotation 2003, du fait du vieillissement d'équipements.**

La dotation aux provisions représente un montant de 2,9 M €, dont 1 M € pour le litige consécutif à la pollution au fioul du site du Vésinet et 1,9 M € pour des coûts de traitement de déchets.

■ **Achats de biens et de prestations** pour 121,9 M €, contre 125 M € en 2003. Cette variation est peu significative. Elle reflète simplement les fluctuations des activités.

■ **Autres charges** pour 1,2 M €, dont 0,9 M € représentant l'annulation de produits à recevoir constitués sur les exercices antérieurs.

2.2.2.

La **charge financière** et la charge payée au titre de l'impôt sur les bénéfices (imposition forfaitaire annuelle), sont citées pour mémoire. C'est l'annulation du solde du produit à recevoir (10,7 M € TTC) constitué sur la subvention MEDD de l'exercice 2002 qui constitue l'essentiel des **charges exceptionnelles** de 13,7 M €. Pour mémoire, une annulation de même nature avait été pratiquée en 2003 à hauteur de 2,9 M €.

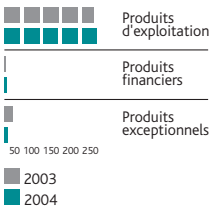
Le total des charges de l'exercice 2004 s'élève donc à 259,8 M €, contre 261,3 M € au titre de l'exercice précédent.

2.3. Résultat et financement

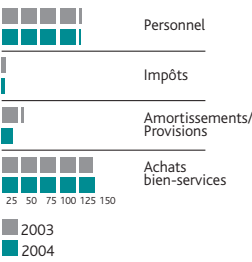
2.3.1.

L'exercice se solde donc par un **résultat déficitaire de 6 M €, contre un bénéfice prévisionnel d'1 M € dans la décision modificative de l'EPRD**, et un bénéfice de 0,4 M € en 2003. L'écart avec la DM1 résulte de

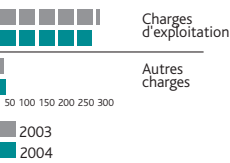
Détail des produits (en M €)



Charges d'exploitation (en M €)



Détail des charges (en M €)



la prise en charge d'un redressement de TVA de l'OPRI pour 2,2 M € et surtout du non-versement par le MEDD des 9,2 M € du déficit fiscal. Ces charges exceptionnelles ont été compensées en partie par un niveau plus élevé des produits financiers, une charge réduite au titre des amortissements de l'exercice et le solde des charges à payer 2003 non utilisées sur 2004.

2.3.2.

La capacité d'autofinancement de l'Institut, qui était de 10 M € dans l'EPRD, se contracte, du fait des opérations exceptionnelles, à 5,1 M € contre 10,3 M € en 2003. Il en résulte que le financement des investissements d'un montant de 16 M € s'équilibre par un prélèvement massif de 10,8 M € sur le fonds de roulement, alors que le prélèvement était déjà de 3,2 M € en 2003. Il convient de noter que les investissements de l'ex-OPRI pour 1,5 M €, et les prêts

au personnel pour 1,2 M €, dont l'EPRD prévoyait le financement par prélèvement sur le fonds de roulement, n'ont pas été réalisés en totalité, et seront reportés sur le prochain exercice à hauteur de 0,73 M €. Dans le même esprit, certains investissements dont le financement figurait dans l'EPRD 2004 et pour lesquels un retard dans la réalisation n'a pas permis d'exécuter la dépense dans sa totalité feront l'objet d'un report sur le prochain exercice et seront ainsi financés en 2005 par un prélèvement sur le fonds de roulement, abondé au titre de 2004.

2.3.3.

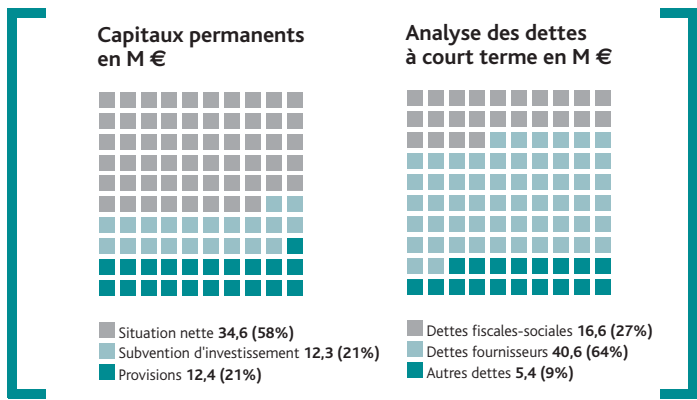
Si l'IRSN a maintenu, hors éléments exceptionnels, les équilibres prévus à l'EPRD, il n'en reste pas moins que l'exercice se solde par un nouveau prélèvement sur le fonds de roulement de 10,8 M €.

3. Analyse du bilan

3.1. Passif

3.1.1.

Après la prise en compte de la perte enregistrée en 2004, les capitaux permanents se composent d'une situation nette de 34,6 M €, de 12,3 M € de subventions d'investissement et de 12,4 M € de provisions, soit un total de 59,3 M € contre 67,9 M € à la fin de l'exercice précédent.



3.1.2.

Les dettes à court terme d'un montant total de 62,6 M €, contre 100,7 M € l'an passé, se décomposent en 16,6 M € de dettes fiscales et sociales, 2,4 M € d'avances sur des commandes en cours, 40,6 M € de dettes aux fournisseurs et 3 M € de dettes diverses. Le poste « fournisseurs » revient à un niveau acceptable par rapport à l'année 2003, qui s'était terminée avec un montant de charges à payer de plus de 70 M €. L'IRSN a en effet retrouvé en 2004 un niveau honorable dans le délai de règlement de ses fournisseurs, et a progressivement régularisé son mode de fonctionnement avec le CEA, permettant un lissage plus naturel des règlements. Cette situation réduira la trésorerie de l'Institut, dont le faible niveau impose désormais des versements anticipés de la subvention ou le recours à des financements externes (découvert bancaire).

3.2. Actif

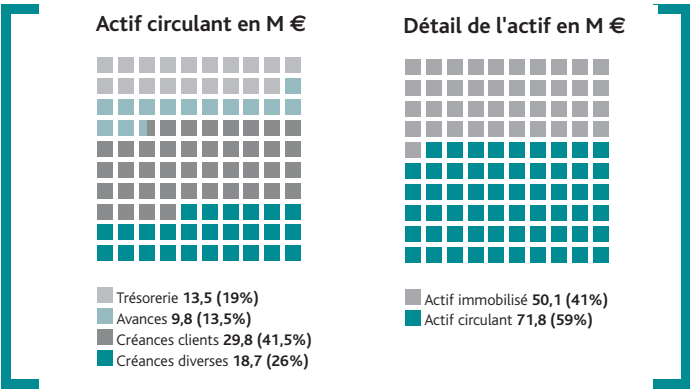
3.2.1.

L'**actif immobilisé** à hauteur de 50,1 M €, contre 47,9 M € l'année écoulée, se détaille en une valeur brute de 88,8 M € et un amortissement de 39,7 M €. Cette faible variation de l'actif immobilisé traduit le vieillissement des équipements de l'Institut et la faiblesse du niveau actuel des investissements. Pour mémoire, les réacteurs de recherche, qui sont restés la propriété du CEA, conformément au décret constitutif de l'Institut, ne figurent donc pas dans le bilan, mais sont directement pris par l'Institut en charges d'exploitation.

3.2.2.

L'**actif circulant** s'établit à 71,8 M €, contre 120,7 M € pour l'exercice précédent, et se compose de 13,5 M € de trésorerie, de 9,8 M € d'avances sur commandes, de créances des clients pour un montant stable de 29,8 M € et enfin un solde de 18,7 M € de créances diverses dont l'essentiel est composé de TVA. Il convient de signaler l'importante baisse de la trésorerie, qui

passé de 44,1 M € à la fin de 2003 à 13,5 M € à la fin de 2004 (cf. supra) ; cela s'explique, au-delà du déficit de l'exercice, par la régularisation progressive des relations avec le CEA dont l'IRSN est un des premiers clients. L'exercice 2004 se termine donc avec un fonds de roulement réduit à 9 M € environ contre 20 M € au 1^{er} janvier.



Conclusion

Hors éléments exceptionnels, l'année 2004 a été exécutée en stricte conformité avec les engagements pris par l'IRSN devant le conseil d'administration, dans le respect des équilibres fondamentaux en termes de résultats et d'effets sur le fonds de roulement. L'évolution du bilan est contrastée : **si le haut de bilan se dégrade du fait de la forte ponction réalisée sur le fonds de roulement, une amélioration notable du bas de bilan est à noter**, avec une réduction des délais de règlement aux fournisseurs, qui traduit la normalisation progressive du fonctionnement de l'Institut. Les éléments exceptionnels ont été partiellement

compensés par l'amélioration des produits financiers et par une dotation aux amortissements inférieure à celle prévue, **mais le prélèvement sur le fonds de roulement fragilise la structure financière de l'Institut, et des discussions sont en cours avec les tutelles afin de déterminer les modalités à mettre en œuvre pour renforcer durablement la situation financière de l'Institut.**

Le changement de régime fiscal, avec l'application d'un régime de TVA proratisé au 1^{er} janvier 2005, supprimera à compter de cette date, toutes choses égales par ailleurs, le déficit budgétaire résultant du régime fiscal mis en place lors de la création de l'Institut.

Compte de résultat

Produits

Produits (hors taxes)	2004	2003	2002 (10 mois)
Produits d'exploitation	245 598 908,63	235 482 280,96	213 374 879,80
Montant net du chiffres d'affaires	35 164 526,17	35 590 211,96	34 611 537,36
Subventions d'exploitation	206 681 399,76	198 098 871,94	178 524 198,90
Reprises sur amortissements et provisions	80 417,64	20 504,32	
Transferts de charges	36 839,37	25 349,47	130 164,47
Autres produits	3 635 725,69	1 747 343,27	108 979,07
Produits financiers	1 446 579,93	1 018 763,58	1 203 877,45
Autres intérêts et produits assimilés	8 710,77	0,00	31,94
Reprises sur provisions et transfert de charges financières			
Différences positives de change	19 953,00	38 568,13	29 626,39
Produits nets sur cessions de valeurs mobilières de placement	1 417 916,16	980 195,45	1 174 219,12
Produits exceptionnels	6 721 564,71	25 211 622,50	5 446,82
Subventions d'investissement virées au compte de résultat de l'exercice	6 554 482,13	18 742 326,22	5 446,82
Sur opérations de gestion	167 082,58	6 469 296,28	0,00
TOTAL PRODUITS	253 767 053,27	261 712 667,04	214 584 204,07
Solde débiteur = perte	6 045 350,60		
TOTAL GÉNÉRAL	259 812 403,87	261 712 667,04	214 584 204,07

En euros (€)

Charges

Charges (hors taxes)	2004	2003	2002 (10 mois)
Charges d'exploitation	245 997 066,23	261 015 076,71	200 437 180,89
Consommations de l'exercice en provenance de tiers	158 454 902,47	182 831 266,23	171 834 080,29
Impôts, taxes et versements assimilés	2 776 145,74	1 381 124,89	3 454 953,91
Charges de personnel	65 805 418,98	45 440 248,53	25 120 486,08
Dotations aux amortissements et aux provisions	17 771 491,98	28 404 363,46	0,00
Autres charges	1 189 107,06	2 958 073,60	27 660,61
Charges financières	33 456,39	21 155,29	46 546,63
Intérêts et charges assimilées	9 805,48	1 881,88	27 264,98
Différences négatives de change	13 650,91	19 199,31	19 281,65
Charges nettes sur cessions de valeurs mobilières de placement	10 000,00	74,10	
Charges exceptionnelles	13 763 131,25	260 535,00	3 822,36
Sur opérations de gestion	13 763 131,25	35,00	3 822,36
Sur opérations en capital		500,00	
Dotations aux amortissements et aux provisions		260 000,00	
Impôt sur les bénéfices	18 750,00	0,00	0,00
Imposition forfaitaire annuelle	18 750,00		
TOTAL CHARGES	259 812 403,87	261 296 767,00	200 487 549,88
Solde créditeur = bénéfice		415 900,04	14 096 654,19
TOTAL GÉNÉRAL	259 812 403,87	261 712 667,04	214 584 204,07

En euros (€)

N.B. : Le poste «charges de personnel» varie avec l'arrivée des salariés du CEA optant pour l'IRSN. Cette augmentation se compense par une baisse des «consommations en provenance des tiers».

Bilan

Actif

	2004			2003	2002
	Brut	Amortissements et provisions	Net	Net	Net
Immobilisations incorporelles	7 217 293,11	5 475 146,01	1 742 147,10	1 845 335,08	1 470 315,23
Immobilisations corporelles	80 366 590,83	33 176 186,78	47 190 404,05	45 435 018,48	13 251 907,41
Immobilisations financières	1 196 078,27		1 196 078,27	635 212,81	- 7 092,29
ACTIF IMMOBILISÉ	88 779 962,21	38 651 332,79	50 128 629,42	47 915 566,37	14 715 130,35
Stocks et en-cours				34 943,08	
Avances et acomptes versés	9 824 069,06		9 824 069,06	7 758 726,96	27 572 585,76
Créances d'exploitation					
Créances clients	29 970 112,77	143 207,83	29 826 904,94	28 178 006,45	35 551 849,76
Autres créances	18 533 312,85		18 533 312,85	79 899 947,86	54 839 848,14
	48 503 425,62	143 207,83	48 360 217,79	108 077 954,31	90 391 697,90
Créances diverses	1 069,28		1 069,28	1 069,28	
Valeurs mobilières de placement	10 938 217,44		10 938 217,44	33 680 806,20	47 177 335,17
Disponibilités	2 565 411,71		2 565 411,71	10 370 525,94	348 995,30
Charges constatées d'avance	72 469,00		72 469,00	241 517,33	
ACTIF CIRCULANT	71 904 662,11	143 207,83	71 761 454,28	160 165 543,10	165 490 614,13
TOTAL GÉNÉRAL	160 684 624,32	38 794 540,62	121 890 083,70	208 081 109,47	180 205 744,48

En euros (€)

N.B. : Le bilan 2002 n'intègre pas le transfert des comptes de l'OPRI et de l'IPSN.

Passif

	2004	2003	2002
Capitaux propres			
Dotation	8 782 859,59	8 782 859,59	
Réserves	31 844 160,61	31 428 260,57	
Résultat de l'exercice (bénéfice ou perte)	- 6 045 350,60	415 900,04	14 096 654,19
Situation nette	34 581 669,60	40 627 020,20	14 096 654,19
Subventions d'investissement	12 297 019,86	18 851 501,99	
TOTAL I	46 878 689,46	59 478 522,19	14 096 654,19
Provisions pour risques et charges			
Provisions pour risques	1 260 000,00	260 000,00	
Provisions pour impôts	1 300 000,00		
Provisions pour charges	9 882 369,57	8 150 000,00	
TOTAL II	12 442 369,57	8 410 000,00	0,00
Dettes			
Dettes financières	312,42	136 537,10	- 248 851,80
Avances et acomptes reçus	2 426 504,71	2 426 504,71	2 426 504,71
Dettes fournisseurs	33 998 794,86	79 002 887,85	84 339 390,84
Dettes fiscales et sociales	16 649 279,72	11 409 966,28	54 797 484,67
Autres		39 514 301,48	
Dettes sur immobilisations et comptes rattachés	6 583 920,72	5 386 816,45	6 767 579,81
Autres dettes	2 792 448,24	2 197 809,41	17 909 218,06
Comptes de régularisation			
Produits constatés d'avance	117 764,00	117 764,00	117 764,00
TOTAL III	62 569 024,67	140 192 587,28	166 109 090,29
TOTAL GÉNÉRAL (I+II+III)	121 890 083,70	208 081 109,47	180 205 744,48

En euros (€)

N.B. : Le bilan 2002 n'intègre pas le transfert des comptes de l'OPRI et de l'IPSN.

Solde intermédiaire de gestion

Rubriques	31/12/2004	31/12/2003	Variations	%
Cofinancements et recettes propres	35 164 526,17	35 590 211,96	- 425 685,79	- 1,20 %
Subventions d'exploitation	206 681 399,76	198 098 871,94	8 582 527,82	4,33 %
PRODUCTION DE L'EXERCICE	241 845 925,93	233 689 083,90	8 156 842,03	3,49 %
Consommation en provenance des tiers	158 454 902,47	182 831 266,23	- 24 376 363,76	- 13,33 %
VALEUR AJOUTÉE	83 391 023,46	50 857 817,67	32 533 205,79	63,97 %
Impôts et taxes	2 776 145,74	1 381 124,89	1 395 020,85	101,01 %
Charges de personnel	65 805 418,98	45 440 248,53	20 365 170,45	44,82 %
EXCÉDENT BRUT D'EXPLOITATION	14 809 458,74	4 036 444,25	10 773 014,49	266,89 %
Reprises, transfert de charges	117 257,01	45 853,79	71 403,22	155,72 %
Autres produits	3 635 725,69	1 747 343,27	1 888 382,42	108,07 %
Dotations amortissements, provisions	17 771 491,98	28 404 363,46	- 10 632 871,48	- 37,43 %
Reprise sur subventions d'équipement	6 554 482,13	18 742 326,22	- 12 187 844,09	- 65,03 %
Autres charges	1 189 107,06	2 958 073,60	- 1 768 966,54	- 59,80 %
RÉSULTAT D'EXPLOITATION	6 156 324,53	- 6 790 469,53	12 946 794,06	- 190,66 %
Produits financiers	1 446 579,93	1 018 763,58	427 816,35	41,99 %
Charges financières	33 456,39	21 155,29	12 301,10	58,15 %
RÉSULTAT COURANT AVANT IMPÔT	7 569 448,07	- 5 792 861,24	13 362 309,31	- 230,67 %
Produits exceptionnels	167 082,58	6 469 296,28	- 6 302 213,70	- 97,42 %
Charges exceptionnelles	13 763 131,25	260 535,00	13 502 596,25	5182,64 %
RÉSULTAT EXCEPTIONNEL	- 13 596 048,67	6 208 761,28	- 19 804 809,95	- 318,98 %
Impôts sur les bénéfices	18 750,00		18 750,00	-
RÉSULTAT DE L'EXERCICE	- 6 045 350,60	415 900,04	- 6 461 250,64	- 1 553,56 %

En euros (€)

N.B. : La subvention versée par le MEDD a été retraitée en production de l'exercice.

Capacité d'autofinancement

Calcul à partir de l'EBE	2004	2003	Variations
Méthode soustractive			
Excédent brut d'exploitation	14 809 458,74	4 030 431,43	10 779 027,31
+ transfert de charges d'exploitation	36 839,37	25 349,47	11 489,90
+ autres produits d'exploitation	3 635 725,69	1 747 343,27	1 888 382,42
- autres charges d'exploitation	1 189 107,06	2 952 060,78	-1 762 953,72
+ produits financiers ^(a)	1 446 579,93	1 018 763,58	427 816,35
± quote-part de résultat sur opération en commun	0,00	0,00	0,00
- charges financières ^(b)	33 456,39	21 155,29	12 301,10
+ produits exceptionnels ^(c)	167 082,58	6 469 296,28	- 6 302 213,70
- charges exceptionnelles ^(d)	13 763 131,25	535,00	13 762 596,25
- impôt sur les bénéfices (le cas échéant)	18 750,00	0,00	18 750,00
CAF	5 091 241,61	10 317 432,96	- 5 226 191,35

En euros (€)

- (a) Sauf reprises sur provisions
- (b) Sauf dotations aux amortissements et provisions financiers
- (c) Sauf : - produits des cessions d'immobilisations
 - quote-part des subventions d'investissement liées au résultat de l'exercice
 - neutralisation des amortissements (compte 776)
 - reprises sur provisions exceptionnelles
- (d) Sauf : - valeur comptable des immobilisations cédées
 - dotations aux amortissements et aux provisions exceptionnels

Calcul à partir du résultat net	2004	2003	Variations
Méthode additive			
Résultat net de l'exercice	- 6 045 350,60	415 900,04	- 6 461 250,64
+ dotations aux amortissements et provisions	17 771 491,98	28 664 363,46	-10 892 871,48
- reprises sur provisions	80 417,64	20 504,32	59 913,32
- résultat net de cessions d'actifs immobilisés	0,00	0,00	0,00
- quote-part des subventions d'investissement rapportées au compte de résultat	6 554 482,13	18 742 326,22	-12 187 844,09
- produits issus de la neutralisation	0,00	0,00	0,00
CAF	5 091 241,61	10 317 432,96	- 5 226 191,35

En euros (€)

Variation de la trésorerie

	2003	2004	Variations
APPORT AU FONDS DE ROULEMENT	-	-	-
PRÉLÈVEMENT SUR LE FONDS DE ROULEMENT	- 3 211 987,17	- 10 838 704,97	- 7 626 717,80
MOUVEMENTS SUR EXERCICE ANTÉRIEUR	24 283 067,65	-	- 24 283 067,65
+ Variation de l'actif circulant d'exploitation	- 1 755 813,10	- 57 807 437,60	- 56 051 624,50
- Variation des dettes d'exploitation	- 9 209 719,90	- 79 279 081,03	- 70 069 361,13
= Variation du besoin en fonds de roulement d'exploitation	7 453 906,80	21 471 643,43	14 017 736,63
+ Variation des autres débiteurs			
- Variation des autres créditeurs	- 17 092 172,01	1 762 645,41	18 854 817,42
= Variation du besoin en fonds de roulement hors exploitation	17 092 172,01	- 1 762 645,41	- 18 854 817,42
(1) + (2) = Variation du besoin en fonds de roulement ou dégagement net de fonds de roulement	24 546 078,81	19 708 998,02	- 4 837 080,79
VARIATION DE LA TRÉSORERIE	- 3 474 998,33	- 30 547 702,99	- 27 072 704,66

En euros (€)

Rapprochement prévisions-réalisations

Compte de résultat	2004 Budget	2004 Réel	Variations Réel/Budget
PRODUITS			
Ventes de prestations de services	41 147 000,00	35 164 526,17	- 5 982 473,83
Subventions publiques (c/74)	204 627 000,00	206 681 399,76	2 054 399,76
Autres produits d'exploitation	12 948 000,00	5 286 227,57	- 7 661 772,43
Opérations internes	6 490 000,00	6 634 899,77	144 899,77
TOTAL DES PRODUITS	265 212 000,00	253 767 053,27	-11 444 946,73
CHARGES			
Charges de personnel	104 544 000,00	65 805 418,98	-38 738 581,02
Autres charges d'exploitation	144 147 000,00	176 235 492,91	32 088 492,91
Opérations internes	15 600 000,00	17 771 491,98	2 171 491,98
TOTAL DES CHARGES	264 291 000,00	259 812 403,87	- 4 478 596,13
RÉSULTAT (BÉNÉFICE)	921 000,00		- 921 000,00
RÉSULTAT (PERTE)		6 045 350,60	6 045 350,60
TOTAL ÉQUILIBRE DU COMPTE DE RÉSULTAT	265 212 000,00	259 812 403,87	- 5 399 596,13

Tableau de passage du résultat à la CAF

RÉSULTAT	921 000,00	- 6 045 350,60	- 6 966 350,60
Dotations amortissements/provisions	15 600 000,00	17 771 491,98	2 171 491,98
Quote-part des subventions virée au résultat		- 6 554 482,13	- 6 554 482,13
Reprises sur amortissements et provisions	- 6 490 000,00	- 80 417,64	6 409 582,36
CAPACITÉ D'AUTOFINANCEMENT	10 031 000,00	5 091 241,61	- 4 939 758,39

Tableau de financement abrégé

CAPACITÉ D'AUTOFINANCEMENT	10 031 000,00	5 091 241,61	- 4 939 758,39
Acquisitions d'immobilisations corporelles et incorporelles	- 17 165 000,00	- 15 261 954,13	1 903 045,87
Immobilisations financières	- 1 200 000,00	- 563 672,28	636 327,72
Remboursement de dettes financières	- 132 000,00	- 136 224,68	- 4 224,68
TOTAL DES EMPLOIS	- 18 497 000,00	- 15 961 851,09	2 535 148,91
Subventions publiques d'investissement			-
Autres ressources (hors opérations internes)		31 904,51	31 904,51
TOTAL DES RESSOURCES	-	31 904,51	31 904,51
APPORT AU FONDS DE ROULEMENT	- 8 466 000,00	- 10 838 704,97	- 2 372 704,97

En euros (€)

> Les implantations

Clamart (Siège social de l'IRSN)
77-83, avenue du Général-de-Gaulle
92 140 Clamart
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88

Agen
B.P. 27
47 002 Agen Cedex
Tél. +33 (0)5 53 48 01 60

Cadarache
B.P. 3
13 115 Saint-Paul-lez-Durance Cedex
Tél. +33 (0)4 42 19 91 00

Fontenay-aux-Roses
B.P. 17
92 262 Fontenay-aux-Roses Cedex
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88

La Seyne-sur-Mer
Zone portuaire Bregaillon
B.P. 330
83 507 La Seyne-sur-Mer Cedex
Tél. +33 (0)4 94 30 48 29

Le Vésinet
31, rue de l'Écluse
B.P. 35
78 116 Le Vésinet
Tél. +33 (0)1 30 15 52 00

Les Angles – Avignon
550, rue de la Tramontane – Les Angles
B.P. 70 295
30 402 Villeneuve Avignon Cedex
Tél. +33 (0)4 90 26 11 00

Mahina (Tahiti)
B.P. 519
Tahiti Papeete, Polynésie française
Tél. +33 (0)06 89 54 00 25

Octeville – Cherbourg
Rue Max-Pol Fouchet
B.P. 10
50 130 Octeville
Tél. +33 (0)2 33 01 41 00

Orsay
Bois-des-Rames (bât. 501)
91 400 Orsay
Tél. +33 (0)1 69 85 58 40

Pierrelatte
B.P. 166
26 702 Pierrelatte Cedex
Tél. +33 (0)4 75 50 40 00

Saclay
B.P. 68
91 192 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. +33 (0)1 69 08 60 00

