



**SÛRETÉ NUCLÉAIRE**

Au-delà de l'accident de la centrale de Fukushima, la sécurité des installations nucléaires est une préoccupation récurrente. Depuis toujours, le CEA en fait une condition *sine qua non* et lui accorde des recherches extrêmement poussées pour toutes les générations de réacteurs. Exemple avec les études du comportement du corium sur la plateforme Plinius.

TEXTE : Claire Abou

# AU CŒUR DU CORIUM

L'accident majeur survenu à la centrale de Fukushima, à la suite du tsunami provoqué par le séisme du 11 mars 2011, remet la sûreté nucléaire sur le devant de la scène. Au CEA, elle est à la fois mise en œuvre sur ses propres installations nucléaires, mais également objet de recherche depuis quasiment sa création. Ses activités de **R & D** pour l'énergie nucléaire et la défense nécessitent d'exploiter des réacteurs de recherche, des laboratoires « chauds », des plateformes expérimentales implémentant des matières radioactives... Le CEA est, à ce titre, responsable de leur fonctionnement, ce qui intègre la maîtrise du risque nucléaire (*lire interview p. 10*). Certaines sont dédiées exclusivement aux études de sûreté concernant les réacteurs **REP**, de 2<sup>e</sup> génération, les **EPR**, de 3<sup>e</sup> génération, et ceux de **4<sup>e</sup> génération**. Ces pro-

Anticiper les accidents, développer des dispositifs pour les éviter ou limiter leurs conséquences.

grammes sont nationaux, réalisés en partenariat avec EDF et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), ainsi que dans le cadre de projets européens, certains impliquant Areva (Sarnet<sup>1</sup>), OCDE/AEN<sup>2</sup>...

Objectifs : anticiper le déroulement d'accidents, développer des dispositifs pour les éviter ou limiter leurs conséquences. Si la sûreté nucléaire repose sur des dispositions, aussi bien organisationnelles que techniques, elle s'inscrit aussi dans une dynamique constante d'amélioration et évolue avec les progrès des connaissances. Progrès qui reposent sur la

recherche et les retours d'expérience du fonctionnement des réacteurs en service (58 en France, près de 500 dans le monde) et des accidents<sup>3</sup>. Les installations de la plateforme Plinius<sup>4</sup>, située sur le centre de Cadarache, se consacrent à l'étude du comportement du corium, qui, pour mémoire, a suscité de fortes préoccupations lors des accidents de Three Mile Island (États-Unis, 1979), de Tchernobyl (Ukraine, 1986) et récemment de Fukushima (Japon, 2011)...

**R & D** // Recherche et développement.

**REP** // Réacteur à eau sous pression. Ce sont les réacteurs actuels du parc français.

**EPR** // Initialement *European Pressurized Reactor*, puis *Evolutionary Power Reactor*. Réacteur de conception franco-allemande, commercialisé par Areva, dont le premier en France, en construction à Flamanville, sera exploité par EDF.

**4<sup>e</sup> génération** // Désigne les réacteurs nucléaires du futur, qui seront construits après l'EPR. L'avant-projet sommaire du CEA relatif à la construction d'un prototype en France sera soumis aux pouvoirs publics fin 2012.

**notes** : 1. Réseau d'excellence sur les accidents graves, regroupant 19 pays européens, le Canada et la Corée du Sud. 2. Agence pour l'énergie nucléaire, organisation intergouvernementale spécialisée de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 3. Le retour d'expérience d'un accident grave n'est exploitable qu'au moins cinq ans après leur survenue, seulement lorsqu'il est possible d'établir l'état du réacteur et le scénario de l'accident.

4. *Platform for Improvements in Nuclear Industry and Utility Safety.*





Préparation  
d'une expérience  
sur l'interaction  
béton/corium sur la  
plateforme Plinius au  
CEA/Cadarache.



>>> Le corium est un magma complexe hautement radioactif, composé principalement d'oxyde d'uranium, de produits de fission, de zirconium (gaines du combustible) et d'acier (éléments internes de la cuve). « Il résulte de la montée en température du combustible, conduisant progressivement à sa dégradation et à sa fusion, à la suite d'une perte prolongée des systèmes de refroidissement, explique Pascal Piluso, ingénieur sur la plateforme Plinius. Cette perte peut être causée par une explosion, comme à Tchernobyl, par une panne électrique des pompes qui font circuler le réfrigérant, comme à Fukushima, où le tsunami a noyé les groupes électrogènes de secours, ou encore la défaillance des indicateurs de température, entre autres, à Three Mile Island. » Concernant ce dernier accident, la progression du corium<sup>5</sup> a été stoppée par la cuve.

#### Du corium totalement liquide à 2 700 °C

Pour Fukushima, les experts ne disposent pas encore de toutes les données nécessaires pour déterminer, dans les trois réacteurs concernés de la centrale, la quantité de corium formé et le niveau d'endommagement qu'il aurait

**notes :** 5. Le corium de l'accident de Three Mile Island provient de la fonte de 40 % du combustible.

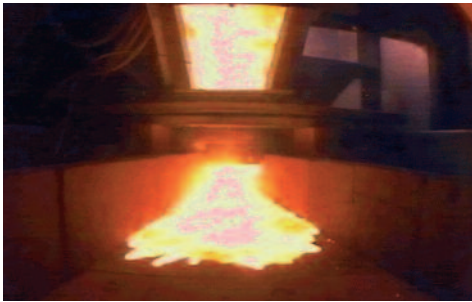
**Réfrigérant //** Fluide qui permet dans un réacteur nucléaire de transporter la chaleur issue des réactions de fission pour produire la vapeur d'eau qui actionne des turbines. Lorsque le réacteur est à l'arrêt, sa fonction essentielle est d'évacuer la puissance résiduelle issue des produits de fission radioactifs encore contenus dans le combustible.

« Aujourd'hui, nous nous concentrons sur les premières 24 heures qui suivent l'accident afin d'évaluer si le corium peut traverser la dernière barrière de confinement, et l'en empêcher. »

Pascal Piluso, ingénieur sur la plateforme Plinius, à Cadarache

occasionné sur la cuve. Lors d'une perte de refroidissement, le combustible nucléaire commence à se dégrader lorsque sa gaine (première barrière de confinement) atteint 1 200 °C. Le corium devient totalement liquide à 2 700 °C. Si la perte de refroidissement perdure, le bain de corium commence à attaquer l'acier de la cuve (deuxième barrière de confinement) suivant différents scénarios, pouvant conduire à sa rupture. Il pourrait alors atteindre le béton de l'enceinte de confinement (dernière barrière), le dégrader et le franchir. Auquel cas, l'environnement serait fortement contaminé. Un autre phénomène peut se produire au cours de l'accident : une interaction entre le corium et l'eau suivie d'une violente explosion, comme à Tchernobyl. « L'approche actuelle dans nos études de sûreté est de se concentrer sur les premières vingt-quatre heures qui suivent l'accident, pendant lesquelles il faut évaluer si le corium peut traverser la dernière barrière de confinement, et trouver des moyens de l'en empêcher », précise Pascal Piluso.

Comment fabriquer du corium, produit lors d'accidents nucléaires graves, à des fins d'étude ? Grâce à des tech-



© CEA-DTN

▲ Vue d'une coulée de corium sur une dalle de béton (petite photo), puis étude de ce corium une fois refroidi et solidifié.

niques innovantes de chauffage mises au point et adaptées par ses chercheurs (plasma, induction...) et à ses équipements uniques en Europe, Plinius peut produire des quantités significatives de corium, et l'étudier à différentes échelles et situations. Le matériau utilisé pour l'expérimentation étant de l'uranium appauvri, ce corium est moins radioactif que celui qui se forme lors d'un accident, mais présente les mêmes caractéristiques physico-chimiques et thermohydrauliques. Des quantités jusqu'à 50 kg de corium permettent d'étudier son interaction avec le béton sur l'installation Vulcano.

Ces expériences sont fondamentales pour pouvoir anticiper le déroulement d'un accident. Elles nécessitent jusqu'à six mois de préparation et durent quatre à cinq heures, permettant de recueillir un grand nombre de mesures et d'informations sur le corium et les cinétiques

de dégradation de bétons de différentes compositions<sup>6</sup> des centrales de 2<sup>e</sup> génération. Des expériences et des connaissances qui ont servi de base dès 2001 pour participer au développement d'un « récupérateur de corium », dispositif supplémentaire et innovant de sûreté pour les réacteurs de 3<sup>e</sup> génération. Mis en place sur les EPR actuellement en construction<sup>7</sup>, celui-ci permet au corium de s'étaler sur une aire construite sous la cuve dans l'enceinte de confinement, puis d'être refroidi par-dessus et par-dessous. Ainsi stabilisé, le corium ne peut plus progresser.

### De nouveaux dispositifs déjà en place

L'une des installations de Plinius, Krotos, permet également d'étudier les explosions vapeur que pourrait provoquer l'interaction du corium avec l'eau. Alors qu'un trimestre est nécessaire pour mettre au point ces essais, mis en œuvre avec 4 à 5 kg de corium, les mesures<sup>8</sup> sont réalisées en quelques centaines de millisecondes : le corium se fragmente et engendre quasi instantanément une explosion vapeur lorsqu'il entre en contact avec l'eau. L'enjeu est de pouvoir modéliser les conséquences des explosions sur la tenue de la cuve et du bâtiment d'un réacteur.

La sûreté nucléaire se gagne ainsi tous les jours, grâce à la rigueur et la vigilance des exploitants, mais également sur le terrain de la recherche, avec, à la clé, de nouveaux dispositifs de sûreté, dont certains sont déjà intégrés dans les nouvelles générations de réacteur.

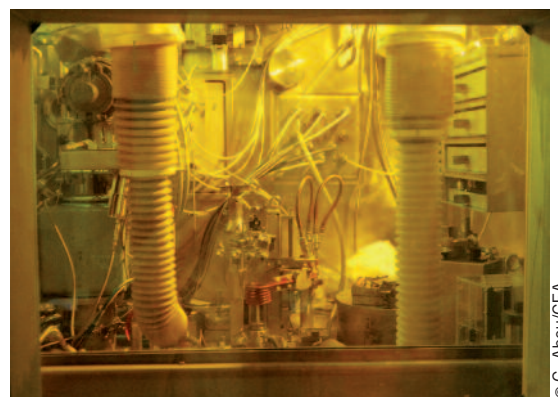
**notes :** 6. Les bétons des centrales sont fabriqués en partie à partir des carrières à proximité du chantier de construction. Elles ont ainsi des caractéristiques spécifiques, qui influent sur leur comportement vis-à-vis du corium. 7. Un EPR est en construction en France, à Flamanville, un en Finlande à Olkiluoto, et deux en Chine, dans la province du Guangdong. 8. Il s'agit de mesures réalisées, par exemple, avec un faisceau de rayons X de hautes énergies.

## INSTALLATIONS DE RECHERCHE

# EXPÉRIENCES EN SÛRETÉ

Les études de sûreté nucléaire au CEA couvrent un large champ d'investigation. Outre celles menées sur Plinius, axées sur le corium, d'autres installations se consacrent à divers types d'accidents ou aspects pris en compte pour la sûreté. Certaines ne sont pas des installations nucléaires de base (INB), comme la plateforme Tamaris et ses tables vibrantes, pour dimensionner les bâtiments de réacteurs de façon à résister à des séismes, ou encore Mistra, pour étudier le risque d'explosion lié à l'hydrogène produit lors de la dégradation des gaines de combustible. Sans être exhaustif, les autres axes de recherche sont les accidents de perte de réfrigérant, pour les-

quels la problématique est de trouver, grâce à la modélisation des phénomènes, les moyens de refroidir le cœur afin de préserver les différentes barrières de confinement ; les accidents de réactivité sont étudiés dans le réacteur Cabri pour mieux comprendre les conditions de rupture des gaines de combustible en cas d'une augmentation subite de la puissance d'un réacteur ; les expériences de caractérisation du relâchement et du déplacement des produits de fission en cas de rupture des gaines de combustible sont menées sur l'installation Verdon. On peut également citer toutes les études de comportement de matériaux (aciers, alliages...) et de combustibles sous flux de neutrons,



© C. Abou/CEA

ainsi que les travaux de modélisation et de recherche fondamentale en physique nucléaire, qui nourrissent la compréhension des phénomènes mis en jeu.

▲ Cellule blindée de l'installation Verdon.

## Edwige Bonnevie, directrice du pôle Maîtrise des risques du CEA

Le point sur les règles de sûreté nucléaire : comment elles sont mises en œuvre et contrôlées au CEA.

# interview

**LES DÉFIS DU CEA** Comment le CEA garantit-il la sûreté de ses installations nucléaires ?

**E. B. |** La sûreté nucléaire consiste à garantir en permanence le confinement de la matière nucléaire par rapport au milieu extérieur. Elle repose en premier lieu sur la conception des installations, avec la mise en place de barrières de confinement successives. Pour un réacteur, il s'agit des gaines de combustible, de la cuve et de l'enceinte de confinement. Elle s'appuie ensuite sur le contrôle

**« En 2010, les autorités de sûreté ont procédé à 122 visites, dont 18 inopinées. »**

et la surveillance continue de l'efficacité de ces barrières. Au CEA, la moindre défaillance est recensée, et fait l'objet d'une déclaration d'événement ou d'incident auprès des autorités de sûreté nucléaire<sup>1</sup>. La préparation à la gestion de différentes situations constitue la dernière ligne de défense. Le CEA dispose d'une organisation de crise avec des équipements et des équipes d'intervention, mobilisables 24 heures sur 24. Nous participons ou organisons une vingtaine d'exercices de crises par an : au niveau local ou national avec, pour certains, la participation des populations voisines.

**LES DÉFIS DU CEA** Qui en a la responsabilité ?

**E. B. |** Au CEA, elle s'exerce à trois niveaux : l'administrateur général (AG), le

directeur de centre et le chef d'installation. Toute la chaîne hiérarchique est concernée par la mise en œuvre de la sûreté nucléaire. Chaque acteur a des objectifs formalisés dans des contrats sûreté/sécurité. Au sein du pôle Maîtrise des risques, nous exerçons, d'une part, une fonction de soutien, et, d'autre part, de contrôle assurée par l'inspection générale et nucléaire. Nous instruisons les décisions, définissons les modalités d'application. Nous animons et coordonnons le réseau des responsables de la sûreté des installations et des centres, où chaque événement fait l'objet d'un retour d'expérience, afin d'entretenir une rigueur et une vigilance permanentes. Un point sûreté est fait chaque mois au comité de direction du CEA.

**LES DÉFIS DU CEA** De quelle façon l'ASN contrôle-t-elle la sûreté nucléaire au CEA ?

**E. B. |** Les installations sont contrôlées depuis leur conception jusqu'à leur démantèlement par l'autorité de sûreté compétente. Chacune a un référentiel de sûreté qui est approuvé par cette autorité après expertise de son appui technique de l'IRSN<sup>2</sup>. C'est sur cette base qu'elle effectue ensuite des inspections, pour vérifier la conformité des dispositifs de sûreté et de leur mise en œuvre. En 2010, les autorités de sûreté ont procédé à 122 visites sur des installations du CEA, dont 18 inopinées. L'organisation et le management de la sûreté au CEA sont réévalués tous les dix ans. Il en est de même de la sûreté des installations : ceci peut conduire à des travaux de remise à niveaux pour obtenir l'autorisation de poursuivre l'exploitation.



© L. Godart/CEA

**LES DÉFIS DU CEA** À la suite de l'accident de Fukushima, toutes les installations nucléaires françaises doivent être soumises à des *stress tests*. Comment vont-ils se dérouler au CEA ?

**E. B. |** Le 5 mai dernier, l'ASN a adressé au CEA un cahier des charges de ces études de robustesse, avec une première liste de 5 installations. Ce sont, sur le centre de Cadarache, le réacteur de recherche RJH en cours de construction, le réacteur expérimental Masurca et l'ATPu<sup>3</sup> en assainissement, à Saclay, le réacteur expérimental Osiris et, à Marcoule, le réacteur Phénix, à l'arrêt. Il s'agit pour chacune d'elles de faire monter progressivement les niveaux d'agression (séisme, inondation... ainsi que leur cumul), au-delà de ceux déjà pris en compte dans la conception, et d'examiner jusqu'à quel niveau la sûreté est assurée. Nous évaluons ensuite comment nous pouvons faire face à des situations extrêmes, avec notamment la perte des réseaux électriques et des systèmes de refroidissement. Nous remettons le 15 septembre notre rapport d'évaluation, l'ASN rendra ses conclusions d'ici à la fin de l'année. En 2012, huit autres installations<sup>4</sup> – réacteurs de recherche, laboratoires, parc d'entreposage de déchets – seront soumises à ces évaluations.

**notes :** 1. ASN (Autorité de sûreté nucléaire) et DSND (Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les installations intéressant la défense). 2. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. 3. Atelier de technologie du plutonium. 4. Il s'agit, sur le centre de Cadarache, des installations Pégase, Cabri, Rapsodie, MCMF, Leca et Chicade, d'Orphée à Saclay, et du laboratoire Atalante à Marcoule.