

Chapitre 2

Quelques-uns des instruments de recherche privilégiés de l'IRSN en matière de sûreté des réacteurs électronucléaires

2.1. Le réacteur CABRI

Le réacteur d'essais de sûreté CABRI fait partie, avec le réacteur « jumeau » SCARABÉE maintenant désaffecté, de l'installation nucléaire de base SURA (INB n° 24) située au centre d'études de Cadarache ; il est exploité par le CEA pour le compte de l'IRSN.

CABRI a été mis en service en 1964. Il s'agit d'un réacteur de type piscine, constitué d'un cœur « nourricier »⁵ dont le combustible est, depuis les années 1970, de l'oxyde d'uranium (UO_2) faiblement enrichi et gainé en acier inoxydable, d'une puissance de 25 MW, refroidi par de l'eau.

CABRI permet d'étudier les conséquences sur le combustible d'accidents de réactivité pouvant survenir dans différents types de réacteurs. Il s'agit d'augmentations très rapides de la puissance du réacteur au-dessus du niveau normal de fonctionnement. Les pics de puissance, de très courte durée (quelques millisecondes) et pouvant atteindre 20 GW,

5. Le cœur « nourricier » produit les neutrons permettant de mener les expériences sur le combustible d'essai positionné dans une boucle disposant de son propre fluide de refroidissement et traversant le cœur suivant son axe central.

sont réalisés par la vidange plus ou moins rapide et séquentielle de barres absorbantes remplies d'un gaz neutrophage, l'hélium 3, isotope de l'hélium. Le cœur du réacteur, mesurant 65 cm de côté sur 80 cm de haut, est composé de 40 assemblages de crayons de combustible conçus pour résister aux conséquences de ces pics de puissance.

De 1978 à 2001, CABRI a été utilisé pour l'étude des accidents de réactivité dans les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, sur des aiguilles (crayons) de combustible uniques positionnées dans une boucle d'essai en sodium. De 1993 à 2000, CABRI a été aussi utilisé pour la filière des réacteurs à eau sous pression, par la réalisation d'essais simulant la première phase d'un accident de réactivité, en utilisant également la boucle en sodium (essais dits REP-Na). CABRI est maintenant équipé d'une boucle à eau sous pression afin d'y mener un nouveau programme de recherches – d'une dizaine d'essais – pour les réacteurs à eau sous pression et dans des conditions plus représentatives d'un REP⁶ : le *CABRI International Program* (CIP), lancé en 2000 (figure 2.1).

Le réacteur CABRI est notamment équipé d'un dispositif, appelé hodoscope, constitué de plusieurs dizaines de chambres à fission et à proton de recul situées à l'extrémité d'un collimateur traversant le cœur. Il permet de détecter et de mesurer avec précision les déplacements de combustible (solide ou à l'état fondu) dans les crayons d'essai au cours de l'expérience.

SCARABÉE, qui n'est plus utilisé, avait en commun avec CABRI les circuits de refroidissement. Contrairement à CABRI, SCARABÉE n'était pas destiné à la réalisation

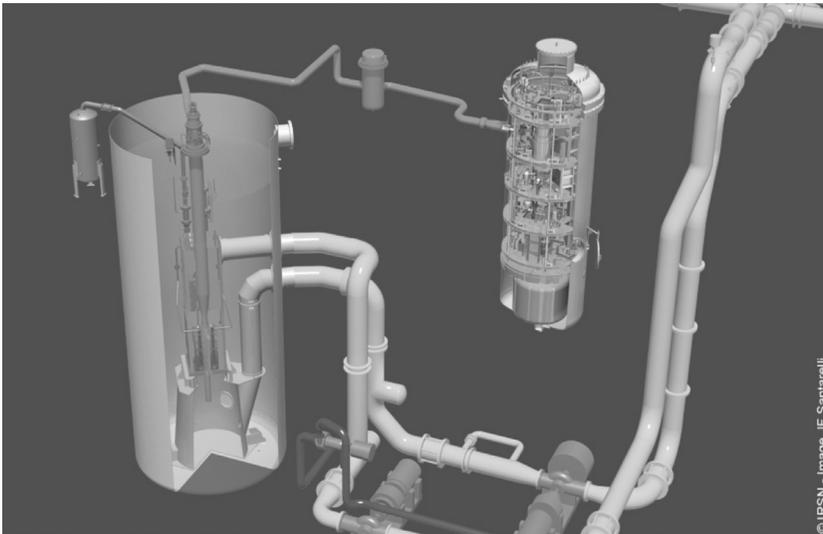


Figure 2.1. Schéma du réacteur d'essais de sûreté CABRI avec la boucle à eau sous pression.

6. Les pression et température dans la boucle en eau sont respectivement de 155 bars et 350°C.

de transitoires rapides de puissance. SCARABÉE a été essentiellement utilisé pour l'étude, grâce à une boucle en sodium de plus grand diamètre que celle utilisée dans CABRI, des accidents hypothétiques de bouchage et fusion d'assemblages dans les réacteurs à neutrons rapides de forte puissance (SUPERPHENIX, projet RNR⁷ 1 500), de 1983 à 1989 ; les essais ont été menés sur des petits assemblages comportant jusqu'à 37 aiguilles de combustible.

2.2. *Le réacteur PHEBUS*

PHEBUS est un réacteur nucléaire d'expérimentation (INB n° 92) également situé au centre d'études de Cadarache et exploité par le CEA. Mis en service en 1978, ce réacteur était destiné à l'étude des accidents pouvant affecter les réacteurs à eau sous pression. Il est arrêté depuis 2010.

Il s'agit d'un réacteur de type piscine, constitué d'un cœur « nourricier » d'une puissance de 40 MW, équipé d'une tour de refroidissement lui permettant de fonctionner à puissance élevée pendant plusieurs jours, contrairement au réacteur CABRI dont l'autonomie de fonctionnement n'excède pas quelques dizaines de minutes. Il était utilisé pour fournir le flux de neutrons servant à chauffer le combustible d'essai introduit dans la boucle à eau sous pression au centre du cœur et produire les produits radioactifs dont on étudiait le comportement dans une phase ultérieure de l'expérience.

Il a été principalement l'outil expérimental du programme Phébus-PF (pour produits de fission) consacré à l'étude du devenir des produits de fission issus d'un cœur de réacteur à eau sous pression dans une situation de fusion du cœur. Ce programme a été lancé en 1988 par l'IPSN, dans le cadre d'un partenariat avec EDF et la Commission européenne, ainsi que d'autres pays (États-Unis, Canada, Japon, Corée du Sud et Suisse) ; il a duré de 1988 à 2010. Auparavant, le réacteur PHEBUS avait été utilisé dans le cadre des programmes Phébus-LOCA (pour *Loss of Coolant Accident*) et Phébus-CSD (pour combustible sévèrement dégradé).

Le CEA a prévu de transmettre en 2017, à l'Autorité de sûreté nucléaire, la demande de mise à l'arrêt définitif du réacteur PHEBUS.

2.3. *La plateforme expérimentale GALAXIE*

La plateforme GALAXIE, située elle aussi au centre d'études de Cadarache, est exploitée par l'IRSN. Elle regroupe des installations expérimentales de diverses capacités qui permettent de mener des recherches expérimentales relatives à la maîtrise des risques d'incendie dans les installations nucléaires (voir le détail dans le chapitre 7). Les deux principaux dispositifs d'essais de GALAXIE sont succinctement décrits ci-après.

7. Réacteur à neutrons rapides.



Figure 2.2. Le dispositif DIVA. © Jean-Marie Huron/Signatures/IRSN.

► DIVA (Dispositif incendie ventilation et aérocontamination)

Le dispositif DIVA (figure 2.2) est dédié à la réalisation d'essais sur les feux dans des configurations mettant en jeu plusieurs locaux ventilés pouvant affecter aussi bien des laboratoires et usines que des réacteurs à eau sous pression. Il est constitué de trois locaux de 120 m^3 , un couloir de 150 m^3 , un local de 170 m^3 à l'étage et d'un réseau de ventilation. Il est doté d'une instrumentation conséquente (jusqu'à 800 voies de mesures). Son génie civil en béton armé et ses équipements ont été dimensionnés pour tenir dans une gamme de pressions des gaz pouvant aller de -100 hPa à $+520 \text{ hPa}$. Les fuites entre locaux sont ajustables ainsi que les configurations de ventilation pour étudier des feux dans des situations mettant en jeu plusieurs locaux confinés et ventilés.

► SATURNE

Le cône calorimètre de SATURNE (figure 2.3) est un dispositif destiné à la détermination, à grande échelle et en atmosphère libre, de grandeurs caractéristiques d'un foyer comme sa puissance et le débit massique de combustion. Les capacités de la hotte et du réseau de ventilation associé (débit maximal de $30\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) permettent d'étudier des foyers dont la puissance peut atteindre au maximum 3 MW.

2.4. *Autres installations*

L'IRSN exploite également cinq autres installations d'expérimentation dans le domaine de la sûreté des réacteurs à eau sous pression.



Figure 2.3. Le dispositif SATURNE. © Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/IRSN.

► Le banc expérimental CALIST (Saclay)

Le banc CALIST (*Characterization and Application of Large and Industrial Spray Transfer*) a été élaboré pour caractériser les tailles et les vitesses des gouttes issues d'une ou plusieurs buses d'aspersion ainsi que pour étudier l'entraînement de l'air par les sprays.

► L'installation TOSQAN (Saclay)

L'installation TOSQAN sert à simuler des conditions thermohydrauliques régnant dans l'enceinte de confinement d'un réacteur nucléaire lors d'un accident de fusion du cœur d'un réacteur. Cette installation est dimensionnée pour permettre l'étude analytique de phénomènes physiques influençant la distribution de l'hydrogène dans l'enceinte de confinement d'un réacteur : condensation en paroi, échanges induits par le puisard ou par le dispositif d'aspersion de l'enceinte.

► L'installation CHIP (Cadarache)

L'installation CHIP (Chimie de l'iode dans le circuit primaire) est un dispositif d'étude physico-chimique constituée de fours, dans lesquels sont introduits les réactifs chimiques, et de tubes à profil axial de température contrôlé, à travers lesquels sont injectés ces réactifs et un gaz porteur. Cette installation est utilisée pour réaliser le programme CHIP dédié à l'étude de la chimie de l'iode hors équilibre thermodynamique (influence de

la cinétique chimique) dans le circuit primaire d'un réacteur à eau lors d'un accident de fusion du cœur.

► L'installation EPICUR (Cadarache)

L'installation EPICUR (Études physico-chimiques de l'iode confiné sous rayonnement) est un irradiateur panoramique constitué de sources de cobalt (^{60}Co) délivrant un rayonnement γ caractérisé par un débit de dose moyen de 10 kGy/h. Il permet de représenter dans une cellule expérimentale l'effet du rayonnement associé à la présence de produits radioactifs dans l'enceinte de confinement d'un réacteur à eau sous pression lors d'un accident de fusion du cœur. Il est utilisé pour le programme du même nom qui a pour objectif l'étude de la chimie de l'iode dans l'enceinte d'un réacteur en situation accidentelle.

► L'irradiateur IRMA (Saclay)

L'installation IRMA (Irradiation matériaux) est composée d'un irradiateur panoramique constitué de sources de cobalt (^{60}Co) délivrant un rayonnement γ caractérisé par un débit de dose moyen de 20 kGy/h. Les activités scientifiques et techniques qui y sont menées sont diverses. Elles concernent par nature l'étude des mécanismes d'interaction rayonnement/matière et plus particulièrement la réponse et la dégradation des matériaux et composants sous rayonnement gamma. IRMA permet également l'étude et la conception de blindages et de protections biologiques pour différents types d'installations nucléaires. Le potentiel de recherche d'IRMA (fort flux γ) permet également de réaliser des études en situation accidentelle.