

Chapitre 9

Conclusion

En raison des dispositions techniques et organisationnelles mises en place pour exploiter les réacteurs nucléaires de production d'électricité, un « accident de fusion du cœur » ou « accident grave » ne peut affecter un tel réacteur qu'à la suite d'une accumulation de dysfonctionnements (défaillances multiples, humaines ou matérielles) comme l'ont confirmé les accidents de fusion du cœur qui se sont produits dans le parc nucléaire mondial depuis son origine. Une telle accumulation de dysfonctionnements peut résulter d'une seule agression (par exemple, comme l'a montré l'accident de Fukushima Daiichi au Japon en mars 2011, une agression externe majeure, voir ci-après) pour laquelle les dispositions prises ne sont pas suffisantes.

Ainsi en 1979, l'accident de la tranche 2 de la centrale nucléaire de Three Mile Island (TMI) aux États-Unis a montré que des cumuls de défaillances pouvaient conduire à un accident de fusion du cœur même si le maintien de l'étanchéité de l'enceinte de confinement pendant presque toute la durée de cet accident a permis de limiter considérablement les relâchements de substances radioactives. Pour cette raison, l'accident de TMI-2 a été sans conséquences significatives sur l'environnement.

De même en 1986, l'accident de réactivité de la tranche 4 de la centrale de Tchernobyl en Ukraine a résulté de défauts de conception du réacteur ainsi que d'un enchaînement de décisions et d'actions de conduite inappropriées qui a mené à la destruction du cœur, à des rejets massifs de substances radioactives dans l'environnement et à une contamination à grande échelle ; l'accident a été classé au niveau 7 de l'échelle INES.

Enfin, en mars 2011, le séisme de magnitude 9 survenu au Japon et le tsunami qui s'en est suivi ont affecté gravement le territoire japonais, avec des conséquences majeures pour les populations et les infrastructures ; ils ont notamment dévasté une large partie du site de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Ces événements naturels ont été à l'origine d'une accumulation de dysfonctionnements (notamment la perte de toutes les alimentations électriques, y compris les alimentations de secours pour quatre des réacteurs de la centrale, et de la « source froide ») qui ont conduit à la fusion des cœurs de trois réacteurs nucléaires, ainsi qu'à la perte de refroidissement de plusieurs piscines d'entreposage de combustibles usés [1]. Des explosions sont également survenues dans les bâtiments de quatre des réacteurs du fait de la production d'hydrogène lors de la dégradation des combustibles. De très importants rejets de substances radioactives dans l'environnement ont eu lieu ; comme l'accident de Tchernobyl, l'accident a été classé au niveau 7 de l'échelle INES.

En 2013, les déroulements des accidents dans les réacteurs de Fukushima Daiichi ne sont pas encore connus avec suffisamment de précision pour pouvoir faire l'objet de descriptions détaillées. Le retour d'expérience de l'accident de TMI-2, où la réalité de l'endommagement du cœur du réacteur n'a pu être constatée qu'en 1986, à l'ouverture de la cuve du réacteur accidenté, laisse penser qu'il faudra plusieurs années pour reconstituer le scénario détaillé de l'accident de Fukushima Daiichi sur la base des observations de l'état final de la dégradation des cœurs et des enceintes de confinement. Pour ce qui concerne les rejets de substances radioactives et leur dispersion dans l'environnement, les évaluations restent provisoires et empreintes d'incertitudes.

Il est à noter qu'après l'accident de TMI-2 survenu aux États-Unis en 1979, la recherche dans le domaine des accidents de fusion du cœur d'un réacteur nucléaire de production d'électricité a bénéficié sur le plan international de moyens importants et d'une forte mobilisation des chercheurs. La compréhension des phénomènes physiques intervenant dans le déroulement de ce type d'accident et le développement d'outils de simulation de ces accidents ont fortement progressé. Le présent ouvrage témoigne de cet effort de recherche et des avancées considérables dans la connaissance des phénomènes complexes impliqués.

Les connaissances dans le domaine ont atteint ainsi un niveau de maturité suffisant pour aboutir à un état de l'art de la physique des accidents graves partagé par les différents acteurs du nucléaire (industriels, instituts de recherche, organismes réglementaires) sur le plan international.

Toutefois, même si les progrès réalisés sont importants, il reste encore des incertitudes ; il n'est ainsi pas possible de prévoir, pour tous les scénarios d'accident envisageables, si les substances radioactives provenant de la dégradation du combustible resteront ou non confinées dans l'enceinte de confinement. En outre, des progrès sont encore possibles dans la définition de dispositions visant à maintenir l'intégrité de la cuve d'un réacteur et l'étanchéité de son enceinte de confinement lors d'un accident de fusion du cœur, ainsi qu'à limiter autant que raisonnablement possible les rejets de substances radioactives dans l'environnement.

Par ailleurs, les évolutions du contexte relatif à la sûreté des installations nucléaires en France avec :

- la coexistence dans un futur proche de réacteurs de 2^e génération et de 3^e génération ;
- une possible extension de la durée d'exploitation des réacteurs de 2^e génération au-delà de 40 ans ;
- la volonté des autorités, après l'accident de Fukushima Daiichi d'améliorer l'efficacité des mesures opérationnelles permettant de limiter les conséquences des accidents de fusion du cœur) ;

ont conduit les exploitants d'installation, l'IRSN et le CEA à proposer aux autorités de nouveaux programmes de recherche visant, pour ce qui concerne le domaine des accidents graves, à développer des connaissances et des outils de calcul permettant, pour les réacteurs de 2^e génération, de mieux apprécier les dispositions existantes, voire en proposer de nouvelles en vue :

- d'arrêter autant que possible la progression de l'accident dans la cuve du réacteur, notamment par :
 - le renoyage éventuel par l'eau du circuit primaire d'un cœur partiellement dégradé (avec présence d'un lit de débris ou d'un bain de matériaux en fusion) dans la cuve du réacteur dans toutes les configurations envisageables de dégradation du cœur ;
 - le refroidissement par le noyage externe de la cuve, par remplissage du puits de cuve pour toutes les configurations envisageables de bain de matériaux en fusion dans la cuve ;
- d'arrêter autant que possible la progression de l'accident dans l'enceinte de confinement, notamment par le refroidissement des matériaux en fusion lors de l'interaction corium-béton par apport d'eau dans le puits de cuve au-dessus ou en dessous du bain de matériaux en fusion ; il s'agit là d'apprécier l'efficacité d'un refroidissement pour arrêter l'érosion du béton par le corium (afin d'éviter la traversée du radier) dans toutes les configurations envisageables de bain de matériaux en fusion et quelle que soit la nature du béton ;
- de réduire les relâchements envisageables d'iode et de ruthénium pour tous les scénarios d'accidents, y compris pour des conditions oxydantes dans le circuit primaire (conditions favorisant *a priori* la volatilité de ces produits de fission) ;
- de réduire encore le risque d'explosion de vapeur en cas de percement de la cuve, compte tenu des interactions entre corium fondu, débris éventuels et eau du puits de cuve ;
- de réduire encore le risque d'accélération de flamme dans l'enceinte de confinement lors d'une combustion de l'hydrogène.

Les connaissances acquises seront capitalisées dans les modèles physiques développés pour les logiciels intégraux tels qu'ASTEC et pour les études probabilistes de sûreté en vue de mieux apprécier les risques d'accident et leurs conséquences.

La conception des réacteurs de troisième génération tels que le réacteur EPR, a d'ores et déjà bénéficié des résultats de la recherche sur les accidents de fusion du cœur avec la mise en œuvre de moyens et de dispositions propres à réduire les conséquences de tels accidents par un confinement approprié des substances radioactives ; le récupérateur de corium en est un exemple. Des études complémentaires devraient permettre de mieux apprécier l'efficacité des moyens et des dispositions mises en œuvre pour ce type de réacteur.

Il sera important de continuer à développer et maintenir une expertise de haut niveau, s'appuyant sur les résultats des programmes de recherche décrits plus haut, dans le domaine des accidents graves, en vue :

- d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 2^e génération en exploitation en développant des dispositions de plus en plus fiables visant à prévenir les accidents de fusion du cœur et à en limiter les conséquences pour ces réacteurs (réacteurs à eau sous pression mais également réacteurs d'autres filières qui sont exploitées en dehors des frontières de la France) ;
- de contribuer à renforcer, à l'échelle européenne, les dispositions de gestion d'une crise nucléaire majeure, car un accident de fusion de cœur conduirait à une crise dépassant largement l'échelle d'un seul pays ;
- pour les pays tels que la France qui conçoit et exporte des réacteurs nucléaires, d'être également en mesure de partager l'approche de sûreté retenue en France avec les pays développant leur secteur nucléaire, notamment pour ce qui concerne les accidents de fusion du cœur.

Tirer tous les enseignements pour la sûreté des réacteurs de puissance de l'accident de Fukushima Daiichi, qui a mis en évidence que des événements naturels d'une ampleur non prise en compte lors de la conception des installations peuvent entraîner un accident nucléaire majeur, prendra de nombreuses années. Cependant, dans le cadre de l'approche européenne dite des « *stress tests* » ou dans le cadre des « évaluations complémentaires de sûreté » conduites en France, des propositions ont été faites en 2011 par les exploitants pour renforcer la protection des installations nucléaires contre des aléas extrêmes, jusqu'ici considérés comme très improbables, et analysées par l'IRSN [2]. Les réflexions en cours sur la nécessité de renforcer la prévention des risques d'accident pourraient également conduire à identifier le besoin de nouveaux programmes de recherche dans le domaine des accidents graves. L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi montre que la mobilisation des acteurs du nucléaire pour prévenir les accidents graves et en limiter les conséquences reste une nécessité pour maintenir et renforcer encore la sûreté des installations nucléaires.

Références

- [1] Fukushima, un an après, Premières analyses de l'accident et de ses conséquences, Rapport IRSN/DG/2012-001, www.irsn.fr, 2012.
- [2] Évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima : comportement des installations nucléaires françaises en cas de situations extrêmes et pertinence des propositions d'améliorations, Rapport IRSN n° 679, www.irsn.fr, 2011.



Les accidents de fusion du cœur des réacteurs nucléaires de puissance

État des connaissances

Didier Jacquemain, Coordinateur

Depuis plus de trente ans, l'IPSN puis l'IRSN joue un rôle majeur au plan mondial dans le domaine des accidents de fusion de cœur de réacteurs nucléaires de puissance par la réalisation de programmes expérimentaux importants (le plus marquant étant le programme Phébus-PF), le développement d'outils de simulation validés (le logiciel ASTEC qui est aujourd'hui le logiciel de référence européen) et par la coordination du réseau d'excellence international SARNET (*Severe Accident Research NETwork*). Ces accidents sont qualifiés d'« accidents graves » car ils peuvent conduire à des rejets radioactifs en dehors de l'installation accidentée avec des conséquences graves pour les populations et l'environnement.

Ce livre compile la somme des connaissances acquises sur ce sujet et tire également les enseignements des accidents graves survenus dans le monde pour la prévention et la réduction des conséquences de tels accidents, sans aborder ceux encore trop partiels, de l'accident de Fukushima.

Les connaissances accumulées par l'Institut sur ces sujets lui ont permis de jouer un rôle actif dans l'information des pouvoirs publics, des médias et du public lors de cet accident.

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est un organisme public d'expertise et de recherche pour la sûreté nucléaire et la radioprotection. Il intervient comme expert en appui aux autorités publiques. Il exerce également des missions de service public qui lui sont confiées par la réglementation. Il contribue notamment à la surveillance radiologique du territoire national et des travailleurs, à la gestion des situations d'urgence et à l'information du public. Il met son expertise à la disposition de partenaires et de clients français ou étrangers.

ISBN : 978-2-7598-0972-1

Siège social

31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018
Téléphone +33 (0)1 58 35 88 88

Courrier

B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex
Site internet www.irsn.fr

