

ÉLÉMENTS DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE LES RÉACTEURS À EAU SOUS PRESSION

Jean Couturier, coordinateur



Collection sciences et techniques

Série *Éléments de sûreté nucléaire, de radioprotection et de sécurité*

Éléments de sûreté nucléaire – Les réacteurs à eau sous pression

Jean Couturier
Coordinateur et rédacteur principal



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.

Imprimé en France
ISBN: 978-2-7598-2455-7

DOI: 10.1051/978-2-7598-2455-7

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© IRSN 2020

Préface

Dans la Collection sciences et techniques de l'IRSN, la nouvelle série « Éléments de sûreté nucléaire, de radioprotection et de sécurité » a pour objectif, comme l'ouvrage de 1996 intitulé « Éléments de sûreté nucléaire » de Jacques Libmann, de contribuer à apporter à celles et ceux qui mènent des activités en rapport avec les rayonnements ionisants, notamment dans l'industrie nucléaire, des éléments de culture technique relatifs à la prévention et à la maîtrise des risques associés. Cette nouvelle série est née de la volonté non seulement d'actualiser l'ouvrage de 1996, mais aussi d'étendre son champ à des domaines qui n'y étaient pas ou que peu traités.

L'IRSN capitalise dans sa collection d'ouvrages scientifiques les meilleures connaissances acquises, en son sein ou dans le cadre de collaborations nationales ou internationales, en portant une attention toute particulière à la qualité pédagogique de leur présentation. À cet égard, l'éclairage par l'histoire de l'évolution des techniques, des idées, des démarches, des organisations et des réglementations, ou encore par les questionnements et les enseignements tirés d'accidents et du retour d'expérience en général, fait partie du « cahier des charges » de la nouvelle série.

Cette série vise aussi à rendre accessibles à tous ceux qui s'intéressent aux sujets qu'elle aborde des informations et des connaissances techniques bien établies et vérifiables dans les domaines correspondants, mettant ainsi en application les trois valeurs de l'Institut que sont la connaissance, l'indépendance et la proximité, inscrites dans sa charte d'éthique et de déontologie.

Puisse la série « Éléments de sûreté nucléaire, de radioprotection et de sécurité », initiée par Jean Couturier, contribuer à la diffusion des connaissances, à l'heure du renouvellement des générations dans de nombreux domaines scientifiques et techniques du secteur nucléaire.

*

* *

Après les deux premiers ouvrages de cette série, intitulés « Éléments de sécurité et de non-prolifération » (Jean Jalouneix, 2015), et « Éléments de sûreté nucléaire – Les réacteurs de recherche » (Jean Couturier *et al.*, 2019), le présent ouvrage constitue une actualisation, ainsi qu'un développement pour certains sujets, des « Éléments de sûreté nucléaire » de Jacques Libmann (1996), dédiés pour l'essentiel à la sûreté des réacteurs à eau sous pression et particulièrement de ceux qui équipent le parc électronucléaire français.

Les premiers réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français ont été conçus sur la base d'installations américaines en construction à la fin des années 1960 ou au début des années 1970. L'expérience mondiale relative à ce genre de réalisations était alors très limitée. Bien entendu, les approches, les méthodes d'analyse et les critères de sûreté ont ensuite évolué. Les connaissances acquises par les travaux de recherche et développement ainsi que les enseignements tirés des trois accidents les plus marquants de réacteurs électronucléaires dans le monde, Three Mile Island en 1979, Tchernobyl en 1986 et Fukushima Daiichi en 2011, ont pris toute leur place dans ces évolutions. À cela s'ajoute le retour d'expérience de certains événements qui, bien qu'ils aient été maîtrisés et n'aient pas eu de conséquences sérieuses pour l'homme et l'environnement, ont été considérés suffisamment importants au plan de la sûreté pour que la mise en place de dispositions visant à renforcer la prévention d'accidents et la limitation de leurs conséquences ait été jugée nécessaire : on peut citer à cet égard l'inondation partielle du site de la centrale nucléaire du Blayais en Gironde, lors de la tempête qui a touché la France à la fin du mois de décembre 1999.

En France, ces évolutions sont appliquées aux réacteurs, soit directement à la suite d'événements jugés suffisamment importants au plan de la sûreté survenus aussi bien en France qu'à l'étranger, soit à l'occasion des réexamens périodiques (tous les dix ans), pratique adoptée en France dès les années 1980.

Plutôt que de décrire comme un « instantané » l'état actuel des approches et des méthodes d'analyse pour ces installations en matière de sûreté nucléaire, après les diverses évolutions dont elles ont bénéficié, il a été choisi une présentation partiellement historique, qui fait mieux ressortir ces évolutions. La volonté d'une approche historique a également dicté, en partie, l'agencement de certains chapitres.

Dans une première partie de cet ouvrage, certaines informations et notions fondamentales relativement génériques sont présentées, qui ne visent pas spécifiquement les réacteurs à eau sous pression : les effets des rayonnements ionisants et le système de radioprotection, les organismes impliqués dans la sûreté nucléaire en France et leurs rôles, l'évolution de la réglementation, le rôle croissant de la société civile et le contexte international – deux domaines qui ont connus un développement particulièrement significatif depuis les années 1990 –, l'importance des facteurs organisationnels et humains pour l'atteinte d'un haut niveau de fiabilité de systèmes sociotechniques complexes que constituent certaines installations nucléaires et leur exploitation, tout particulièrement les réacteurs électronucléaires.

Les parties suivantes, dédiées successivement à la conception, à l'exploitation, aux enseignements tirés des trois grands accidents évoqués plus haut, à la préparation et à la réponse en cas de situation d'urgence, sont beaucoup plus ciblées sur les réacteurs à eau sous pression, principalement ceux du parc électronucléaire français, mais aussi ceux du même type à l'étranger lorsque notamment ils ont fait l'objet d'anomalies ou d'événements dont les enseignements ont pu bénéficier au parc électronucléaire français.

Enfin, quelques éléments concernant les apports des études et des travaux de recherche et développement en matière de sûreté nucléaire, ainsi que les logiciels de simulation, sont regroupés dans la dernière partie de l'ouvrage.

Cet ouvrage témoigne de la volonté de recherche permanente d'améliorations dans le domaine de la sûreté nucléaire. L'approche historique adoptée permet de montrer comment des améliorations naissent de remises en question et de pragmatisme. Les évolutions dépassent les cadres purement nationaux vers une harmonisation européenne, voire mondiale, des pratiques en matière de sûreté pour obtenir des améliorations significatives des niveaux de sûreté. C'est en particulier l'enjeu du réacteur à eau sous pression de « nouvelle génération » EPR (*European Pressurized water Reactor*) développé par les électriciens français et allemands avec les constructeurs des deux pays, et du démarrage de celui de la centrale nucléaire de Flamanville en France, ou de nouveaux concepts proposant des réponses, associées à des solutions techniques plus innovantes, à certaines questions de sûreté. La nécessité de prendre en compte pour la conception même de nouveaux réacteurs la possibilité de situations avec fusion du cœur a été l'un des jalons majeurs d'amélioration globale de la sûreté des réacteurs électronucléaires – adoptée dès les années 1990 dans les orientations retenues par la France et l'Allemagne pour le réacteur EPR.

C'est à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 que la notion de « culture de sûreté » a été introduite par une instance internationale (l'International Nuclear Safety Advisory Group); puisse le présent ouvrage y contribuer.

Je tiens tout particulièrement à remercier Jean Couturier, coordinateur et rédacteur principal, ainsi que tous les nombreux contributeurs qui ont apporté leur précieux concours à ce travail de synthèse important, qui a nécessité environ sept années pour son élaboration et sa mise au point.

Jean-Christophe NIEL
Directeur général de l'IRSN

Avant-propos

Le présent ouvrage, consacré principalement aux réacteurs électronucléaires à eau sous pression, tout particulièrement à leurs caractéristiques et spécificités en termes de sûreté nucléaire et de radioprotection, a été rédigé, pour l'essentiel, par des personnes de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Jean Couturier a assuré la conception d'ensemble du projet d'ouvrage et la coordination générale de ce projet, le travail principal de rédaction et notamment celle de certains chapitres, le travail d'harmonisation et de cohérence générale. Pour de nombreux sujets, des éléments de l'ouvrage de Jacques Libmann diffusé en 1996 ont été conservés pour leur intérêt historique et pédagogique.

Daniel Quéniart a effectué une relecture approfondie des projets de chapitres à différentes étapes de l'avancement de l'ouvrage, à l'égard desquels il a apporté de judicieux éclairages et conseils – notamment sur des questions d'histoire de la sûreté nucléaire.

Emmanuel Wattelle a apporté un appui à la coordination du projet d'ouvrage pour le Pôle sûreté nucléaire de l'IRSN et il a contribué à la rédaction et à la mise au point de certains chapitres. Stéphanie Graff a apporté un appui tout particulier à la mise au point des parties de l'ouvrage relatives au combustible et aux études d'accidents.

Les contributeurs sont cités *in extenso* en pages XXXIX à XLIV, chapitre par chapitre.

Mark Vincke et Pieter de Gelder, de l'organisme belge Bel V, ont rédigé la partie relative aux enseignements tirés en Belgique de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

Les éléments relativement succincts consacrés à la réglementation relative aux équipements sous pression utilisés dans le domaine nucléaire ont bénéficié de conseils judicieux et d'éclairages de la part de l'Autorité de sûreté nucléaire, notamment

de Simon Liu de la Direction des équipements sous pression (ASN/DEP) et de Rémy Catteau de la Direction de la production nucléaire (ASN/DPN).

Bertrand de Buchère de l'Épinois et Michel Nédélec, membres du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR), ont apporté leur contribution respectivement sur l'association internationale WANO (World Association of Nuclear Operators) des exploitants de réacteurs électronucléaires de puissance, et sur les notions de conservatismes et de marges.

Le présent ouvrage suppose la connaissance préalable d'éléments de base sur le fonctionnement des réacteurs électronucléaires à eau sous pression¹; quelques « rappels » sont néanmoins fournis, notamment en matière de physique des cœurs de ces réacteurs.

Concernant les informations utilisées, il a été veillé à ce que les sources externes soient citées, y compris pour l'iconographie. À cet égard, peuvent être particulièrement mentionnés le « Mémento sûreté nucléaire en exploitation » (édition 2016) ou encore « La maintenance des centrales nucléaires » de Jean-Pierre Hutin (2016) pour ce qui concerne des ouvrages d'Électricité de France (EDF), des « monographies » de la Direction de l'énergie nucléaire du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), des textes officiels français (réglementation notamment), des éléments diffusés sur les sites internet de Framatome ou d'Orano, des publications de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE/AEN), ou encore des communications faites dans le cadre de congrès...

Odile Lefèvre et Georges Goué ont assuré les travaux préparatoires à l'édition de l'ouvrage.

1. Le lecteur pourra consulter par exemple l'ouvrage « La chaudière des réacteurs à eau sous pression », P. Coppolani, N. Hassenboehler, J. Joseph, J.-F. Petetrot, J.-P. Py, J.-S. Zampa, INSTN/EDP Sciences, 2004; l'ouvrage « Physique, fonctionnement et sûreté des REP – Maîtrise des situations accidentelles du système réacteur », B. Tarride, INSTN/EDP Sciences, Collection Génie atomique, 2013; ou encore le chapitre 2 « Conception et fonctionnement d'un réacteur à eau sous pression » de l'ouvrage « Les accidents de fusion du cœur des réacteurs nucléaires de puissance », D. Jacquemain *et al.*, Collection sciences et techniques, IRSN/EDP Sciences, 2013.