

Introduction

Les installations nucléaires présentent des risques spécifiques car elles contiennent toutes, par définition, des quantités plus ou moins importantes de substances radioactives. Or ces substances peuvent provoquer l'exposition de travailleurs ou de personnes du public aux rayonnements ionisants et à leurs effets et avoir un impact radiologique sur l'environnement. Les installations nucléaires destinées à la production d'électricité sont, bien évidemment, dans ce cas.

Les autres sources d'énergie présentent également des risques mais l'objet du présent ouvrage n'est pas d'effectuer des comparaisons. Le propos se limitera à la présentation des objectifs, des concepts et des principes utilisés visant à obtenir un niveau de sûreté satisfaisant des réacteurs électronucléaires, ainsi que leurs déclinaisons pour la conception et l'exploitation de ces réacteurs.

La sûreté est le résultat d'un ensemble de dispositions techniques et d'organisation prises à tous les stades de la « vie » d'une installation pour que son fonctionnement et son existence même présentent des risques assez faibles pour être jugés acceptables, pour les travailleurs ou le personnel directement concernés, les personnes du public et pour l'environnement. La notion de risque acceptable ne se réfère pas à des critères définis et absolus. Elle résulte de choix à caractère sociopolitique qui évoluent dans le temps et qui peuvent être différents d'un pays à l'autre en fonction de la situation économique locale. Si les techniciens ont, dans ce domaine, un rôle de proposition, la décision finale relève d'une appréciation politique qui intègre d'autres aspects.

Il s'agit donc à la fois :

- d'assurer des conditions de fonctionnement normal de l'installation qui ne provoquent ni radio-exposition excessive des travailleurs, ni rejet d'activités radiologiques importantes par les effluents ;

- de prévenir les incidents et les accidents;
- de limiter les effets sur les travailleurs, les populations et l'environnement d'incidents ou d'accidents qui surviendraient néanmoins.

Cela se traduit par des dispositions touchant aussi bien la conception, la construction que l'exploitation et le démantèlement des installations.

Pour un type d'installation donné, la démarche commence par l'identification de la nature des risques potentiels associés et de leur importance. Les moyens d'assurer la sûreté ne peuvent être définis puis analysés qu'après ce préalable.

La France est engagée dans la construction et l'exploitation d'installations nucléaires depuis le milieu du siècle dernier, avec, dès les années 1950, de petits réacteurs prototypes ou de recherche, dans les années 1960 de plus gros réacteurs à vocation électrogène de la filière dite uranium naturel graphite gaz ou « UNGG » (réacteurs utilisant de l'uranium naturel comme combustible, refroidis et modérés neutroniquement par du graphite), enfin, à partir des années 1970, 58 réacteurs électronucléaires à eau sous pression, d'abord sous licence Westinghouse puis de conception Framatome. Les réacteurs « UNGG » ont tous été arrêtés avant l'année 2000. Mais nombre des réacteurs à eau sous pression en service sont déjà anciens; les réacteurs de 900 MWe atteignent leurs 40 années de fonctionnement, durée initialement prévue pour la conception de certains de leurs équipements.

Pour bien situer l'objectif de la sûreté nucléaire, sont présentés brièvement, dans un premier chapitre, les effets biologiques des rayonnements ionisants ainsi que les principes fondamentaux du « système » de radioprotection. Cela devrait permettre au lecteur de mieux apprécier les ordres de grandeur des conséquences des phénomènes envisagés et des accidents sérieux qui sont survenus dans les centrales nucléaires de Three Mile Island en 1979, de Tchernobyl en 1986 et de Fukushima Daiichi en 2011.

De même, la pratique et la recherche de la sûreté se font selon un partage de responsabilités défini par des textes réglementaires. Pour rester dans l'esprit d'un exposé plus technique qu'administratif, sont présentés dans le deuxième chapitre les principes d'organisation et de relation entre les organismes contribuant *in fine* à la sûreté: les exploitants, responsables au premier chef de la sûreté de leurs installations nucléaires, les autorités de sûreté, les organismes techniques de sûreté et les groupes d'experts, sans oublier la société civile dont l'implication s'est considérablement accrue depuis les années 1970.

La seconde partie, consacrée à la « sûreté à la conception » des réacteurs, présente tout d'abord quelques rappels sur le développement des réacteurs dont le fonctionnement est fondé sur la fission de l'uranium 235 et des notions fondamentales de physique des réacteurs à eau sous pression. Puis sont présentés les objectifs généraux, les principes et concepts applicables pour leur conception, comme les « fonctions fondamentales de sûreté », les « barrières de confinement », le concept de « défense en profondeur », les approches « déterministe » et « probabiliste ». Sur tous ces sujets, des objectifs et des exigences plus drastiques ont été retenus au fil du temps, issus de

discussions approfondies (parfois dans un cadre européen) entre les exploitants, les concepteurs et les organismes de sûreté, pour tenir compte notamment des enseignements tirés d'incidents ou d'accidents sérieux (accident des centrales nucléaires de Three Mile Island, de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi, sans oublier l'inondation de la centrale nucléaire du Blayais à la fin du mois de décembre 1999). La prise en compte pour la conception même des réacteurs électronucléaires de la possibilité de situations avec fusion du cœur a ainsi été, dans les années 1990, l'un des sujets majeurs pour l'amélioration globale de la sûreté des réacteurs électronucléaires de la « prochaine génération » tels que l'*European Pressurized water Reactor* (EPR). Parallèlement, les méthodes et règles d'étude des événements postulés qui sont étudiés dans le cadre de l'approche dite déterministe (accidents de perte² de réfrigérant primaire, d'insertion de réactivité dans le cœur, agressions externes...) se sont affinées, à la lumière notamment des enseignements tirés des travaux de recherche menés au plan international.

La troisième partie aborde quelques-uns des aspects les plus importants de la « sûreté en exploitation » des réacteurs électronucléaires : les essais de démarrage réalisés avant la mise en service proprement dite des réacteurs, le retour d'expérience des événements qui surviennent en exploitation – illustré par un certain nombre d'entre eux qui ont été riches d'enseignements –, la maintenance des équipements, les contrôles en service avec quelques-unes des anomalies les plus significatives découvertes et la façon dont elles ont été traitées. À cet égard, des anomalies ou événements anciens, qui ont affecté des réacteurs électronucléaires français lors de leurs premières années d'exploitation (et d'autres réacteurs à l'étranger), n'ont pas été omis, du fait de leur valeur pédagogique, la survenue d'événements similaires, sous une forme ou une autre, ne pouvant pas être catégoriquement écartée. À l'inverse, des événements récents ou faisant encore l'objet de discussions entre l'exploitant, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et l'IRSN, ne sont volontairement pas évoqués dans le présent ouvrage.

En matière de contrôles en exploitation (ou « en service »), sujet auquel un chapitre est spécifiquement dédié, les différents programmes mis en œuvre sont au cœur des débats entre Électricité de France (EDF) et les organismes de sûreté dans le cadre du projet d'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà des 40 années retenues au stade de la conception. Ces programmes doivent apporter les assurances suffisantes sur la maîtrise adéquate du « vieillissement »³ des composants, notamment de ceux qui ne sont pas, ou sont difficilement, remplaçables (les cuves des réacteurs notamment).

La quatrième partie de l'ouvrage présente les accidents survenus dans les centrales nucléaires de Three Mile Island, de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi,

-
2. Dans le domaine de la sûreté nucléaire, le terme « perte » est largement utilisé (y compris au niveau international avec le mot *loss*). Il correspond à une indisponibilité ou à une défaillance, telles la perte de réfrigérant primaire dans le cas d'une brèche d'une tuyauterie du circuit primaire, la perte des alimentations électriques externes dans le cas d'une défaillance ou d'une indisponibilité du réseau de distribution et d'alimentation électrique d'une centrale...
 3. Ce terme désigne les différents processus d'altération des équipements au cours du temps ; un certain nombre d'entre-eux seront présentés notamment au chapitre 27.

leurs conséquences (y compris sanitaires) et les enseignements qui en ont été tirés. De façon schématique, ces accidents ont notamment conduit à un certain nombre de dispositions concrètes (matérielles ou organisationnelles) visant à renforcer la prévention de différentes situations: situations avec fusion du cœur (par exemple par un apport excessif de réactivité dans le cœur, sujet dont l'accident de Tchernobyl a motivé un approfondissement tout particulier), situations de perte du confinement, de rejets précoces ou importants de substances radioactives dans l'environnement, cela y compris en tenant compte de la possibilité d'événements externes (séisme, inondation...) plus sévères que ceux qui ont été retenus pour la conception des installations (ou lors de leurs réévaluations de sûreté). Le concept de « noyau dur » d'équipements pouvant résister à de telles « agressions », adopté en France à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, y est explicité et sa mise en œuvre illustrée pour les réacteurs du parc électronucléaire français; des dispositions prises dans d'autres pays (Belgique, États-Unis) sont aussi décrites.

Les dispositions prises tant au niveau des pouvoirs publics que par l'exploitant, Électricité de France, en termes de préparation et de réponse à des situations d'urgence (radiologique) sont enfin présentées.

La cinquième et dernière partie de l'ouvrage permet de rappeler quelques-uns des apports les plus marquants des études et des travaux de recherche et développement à la sûreté des réacteurs du parc électronucléaire français. Sont aussi présentés dans le dernier chapitre quelques-uns des très nombreux logiciels de simulation utilisés pour les analyses de sûreté, la préparation d'expériences ou l'exploitation des résultats qui en sont issus; sa lecture peut bien évidemment être complétée par celles d'ouvrages ou de communications scientifiques d'Areva-NP ou de Framatome, du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et d'Électricité de France.

Trois chapitres sont consacrés aux facteurs organisationnels et humains, sujet qui avait été succinctement évoqué dans différents domaines abordés dans l'ouvrage « Éléments de sûreté nucléaire » diffusé en 1996. Le retour d'expérience, les nombreuses études menées et le développement d'approches en la matière ont justifié que ce sujet soit développé dans le présent ouvrage.

Enfin, il convient de noter que, sauf indication contraire, les éléments présentés dans cet ouvrage correspondent à un état des connaissances à fin 2019.