

Chapitre 1

Introduction générale

Depuis la découverte de la fission nucléaire¹ en 1938, les scientifiques se sont fortement intéressés à cette propriété de la matière qui, bien maîtrisée, permet de produire une grande quantité d'énergie pouvant être convertie en électricité. Le développement de l'utilisation de cette forme d'énergie au cours du temps a nécessité de nombreuses études et expériences, très largement menées à l'aide de réacteurs de recherche, outils d'expérimentation indispensables pour l'acquisition des connaissances et le développement des techniques nécessaires à la conception et à l'exploitation, dans des conditions de sûreté satisfaisantes, des réacteurs nucléaires de production d'électricité. Mais, parallèlement, les réacteurs de recherche ont vu leur utilisation étendue à bien d'autres domaines.

Pour le présent ouvrage, l'appellation « réacteur de recherche » a été retenue, correspondant à son équivalent anglo-saxon *research reactor* largement adopté dans le monde, sachant que, en France, l'appellation « réacteur d'expérimentation » est parfois utilisée. Il ne faut pas confondre ces réacteurs avec les réacteurs électrogènes à caractère expérimental ou prototype, comme le réacteur à eau lourde EL4 en France (centrale nucléaire de Brennilis), ou en Suisse le réacteur de la centrale nucléaire de Lucens. Certains des réacteurs électrogènes seront cependant évoqués lorsque des expérimentations y sont ou y ont été menées, comme par exemple le réacteur électrogène à neutrons rapides PHENIX, refroidi au sodium, bien qu'ils ne relèvent pas strictement de la catégorie des réacteurs de recherche.

1. Phénomène par lequel le noyau d'un atome lourd se scinde en deux noyaux plus petits sous l'impact d'un neutron.

Les réacteurs de recherche sont des installations nucléaires permettant de fournir des flux² intenses de neutrons. Ces réacteurs, qui fonctionnent à de faibles températures et pressions, sont plus simples que les réacteurs électrogènes de puissance. Ils ne nécessitent que peu de combustible et leur inventaire³ en produits de fission reste beaucoup plus faible. Par contre, ils nécessitent l'utilisation d'un combustible beaucoup plus enrichi en isotope 235 de l'uranium que celui utilisé pour les réacteurs électrogènes de puissance ; l'enrichissement en isotope 235 de l'uranium peut ainsi atteindre 20 %, voire 93 % dans certains cas.

Depuis la divergence⁴ du premier réacteur nucléaire (Chicago Pile-1), qui a été réalisée le 2 décembre 1942 par l'équipe dirigée par Enrico Fermi à l'université de Chicago – la première divergence d'un réacteur de recherche en France, la « pile atomique » ZOÉ⁵, fut réalisée au mois de décembre 1948 –, près de 800 réacteurs de recherche ont été construits ou sont en cours de construction dans le monde. Environ 220 réacteurs de recherche sont en service dans près de 55 pays. Leur puissance thermique peut varier de 0 à 250 MW (à comparer à la puissance thermique d'environ 3 000 MW d'un réacteur à eau sous pression délivrant une puissance électrique de 900 MWe), mais, pour 90 % d'entre eux environ, elle est inférieure à 10 MW. Leurs conceptions, leurs modes de fonctionnement et leurs utilisations sont très divers.

Parmi les nombreuses utilisations des réacteurs de recherche, il convient de citer la recherche fondamentale et la recherche dite appliquée (c'est-à-dire visant des objectifs pratiques déterminés), l'éducation et la formation des ingénieurs et des personnels de l'industrie électronucléaire, ainsi que la production de radioisotopes à usage médical. Dans le domaine de la recherche appliquée, les réacteurs de recherche ont joué un rôle déterminant dans le développement des technologies des réacteurs nucléaires électrogènes, y compris celles de dispositifs ou systèmes jouant un rôle en matière de sûreté. En effet, l'utilisation de réacteurs de recherche a permis de réaliser en particulier des études de neutronique des cœurs des réacteurs électrogènes et des études du comportement des combustibles et des matériaux de ces réacteurs sous l'effet de l'irradiation. Elle a aussi permis des études de situations accidentelles jusques et y compris la fusion de combustible et le transfert de produits de fission vers l'environnement résultant de ces situations.

Pour ce qui concerne la sûreté, les réacteurs de recherche sont, comme tous réacteurs nucléaires, des installations dans lesquelles se déroule une réaction en chaîne qu'il convient de maîtriser, avec l'ensemble des risques associés à de telles installations (endommagement du combustible, dissémination de produits radioactifs, irradiation de personnels...). Mais ces risques sont, selon les réacteurs de recherche et leurs utilisations, de nature et d'ampleur variées. Cela implique des analyses de sûreté au cas par cas et de

-
2. Nombre de neutrons traversant une unité de surface fermée pendant une unité de temps.
 3. Expression couramment utilisée pour désigner les quantités et la nature (isotopes) de ces produits de fission.
 4. La divergence nucléaire est le démarrage du processus de réaction nucléaire en chaîne dans un réacteur nucléaire.
 5. ZOÉ (Z comme zéro, O comme oxyde d'uranium et E comme eau lourde, ou encore ZérO Énergie) est aussi appelé EL1 (EL comme eau lourde).

s'assurer que les conditions de réalisation des différentes expériences qui y sont menées, pour les besoins de la recherche, sont compatibles avec les impératifs de sûreté.

Il existe néanmoins quelques sujets génériques en matière de sûreté des réacteurs de recherche. Pour beaucoup des réacteurs existants (en exploitation), la durée de vie fixée au moment de leur conception est dépassée et 60 % d'entre eux ont plus de 40 ans d'âge. De ce fait, se posent avec une acuité particulière des questions liées à l'obsolescence et au vieillissement⁶ de certains de leurs composants ainsi qu'à la nécessité de remises à niveau pour tenir compte notamment de l'évolution des connaissances relatives à certains risques ou encore de l'évolution de critères de sûreté.

Par ailleurs, selon leur nature et leur utilisation, les réacteurs de recherche peuvent soulever certaines questions spécifiques dans le domaine des facteurs organisationnels et humains. À titre d'exemple, la réalisation d'expériences dans les réacteurs de recherche peut se traduire par de nombreuses manipulations sur les cœurs de ces réacteurs, y compris lorsqu'ils sont en fonctionnement.

Le présent ouvrage est structuré en deux parties :

- une première partie dresse un panorama général des réacteurs de recherche au plan international et aborde en particulier certains aspects génériques de la sûreté de ces réacteurs. Les actions et les travaux menés par l'AIEA sont présentés ainsi que les incidents et accidents sérieux survenus et les évaluations conduites au plan international à la suite de l'accident survenu en 2011 à la centrale de Fukushima Daiichi ;
- une deuxième partie, plus développée, est consacrée aux réacteurs de recherche français et à différents aspects de leur sûreté : acteurs et organisation du contrôle de la sûreté en France, objectifs généraux, principes et démarches de sûreté, accidents pris en compte pour leur conception, retour d'expérience (y compris ceux des accidents de la centrale nucléaire de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi), améliorations les plus marquantes effectuées à l'occasion de certains réexamens de sûreté...

6. *Ageing management* en anglais. Cette notion sera précisée au paragraphe 2.2.2.