

Chapitre 1

Introduction

1.1. Objectifs généraux de l'ouvrage

Les réacteurs de production d'électricité utilisant la fission nucléaire présentent des risques liés aux possibilités de dispersion de substances radioactives et de contamination de l'homme et de l'environnement. Pour réduire ces risques, l'industrie nucléaire accorde une importance de tout premier plan à la sûreté de ses installations. De fait, la conception, la réalisation et l'exploitation des installations nucléaires sont conduites de façon à prévenir les situations incidentelles et accidentelles qui pourraient survenir et à en limiter les conséquences. Par ailleurs, l'amélioration continue du niveau de sûreté des installations est recherchée par la prise en compte du retour d'expérience de conception et d'exploitation, par les réexamens de sûreté des installations réalisés périodiquement et par la prise en compte des progrès des connaissances et des techniques applicables.

Malgré toutes les dispositions mises en œuvre, la possibilité d'un accident entraînant une fusion plus ou moins étendue du combustible nucléaire contenu dans le cœur du réacteur et, à plus ou moins long terme, des relâchements importants de substances radioactives dans l'environnement, ne peut pas être exclue comme l'a montré l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon en mars 2011. L'étude de ce type d'accident, communément désigné comme « accident grave », constitue une composante importante de la démarche de sûreté pour les réacteurs de production d'électricité utilisant la fission nucléaire. Elle est conduite dans l'objectif de mettre en place des dispositions adaptées pour réduire la probabilité d'un tel accident et pour, s'il survenait malgré tout, en limiter les conséquences sur les populations et sur l'environnement. Pour atteindre cet objectif, un effort conséquent de recherche a été réalisé

en France et de par le monde par tous les acteurs du nucléaire et des améliorations de matériels et de conduite ont été apportées aux réacteurs en exploitation.

Cet ouvrage a pour objectif de présenter les aspects scientifiques des accidents de fusion du cœur, notamment l'état des connaissances acquises à la suite de l'effort de recherche mené au cours des trente dernières années pour comprendre et modéliser les phénomènes physiques qui pourraient intervenir lors d'un tel accident. Il s'adresse à tout lecteur souhaitant se forger une vision synthétique des connaissances acquises, des lacunes et des incertitudes restantes, ainsi que de la recherche passée et en cours dans le domaine des accidents de fusion du cœur.

Il fait donc le point sur l'état des connaissances et des perspectives en matière de recherche dans le domaine, un peu plus de trente ans après l'accident de Three Mile Island (TMI) aux États-Unis, qui a entraîné la fusion partielle du cœur avec heureusement des rejets radioactifs très limités, près de deux ans après l'accident de Fukushima Daiichi qui a entraîné la fusion du cœur dans trois réacteurs et des rejets radioactifs importants, et alors que les premiers réacteurs à eau de 3^e génération sont en construction ; pour ces réacteurs, les accidents de fusion du cœur sont traités dès leur conception.

Les enseignements préliminaires tirés de l'accident de Fukushima Daiichi ne semblent pas fondamentalement remettre en question les connaissances relatives à la phénoménologie des accidents de fusion du cœur ou faire ressortir de nouveaux phénomènes ignorés jusqu'à présent. Cependant, deux ans après l'accident, le déroulement complet de la séquence accidentelle n'est pas encore précisément établi. Le retour d'expérience de l'accident de TMI où l'endommagement du cœur du réacteur n'a pu être observé qu'environ sept ans après l'accident, après l'ouverture de la cuve du réacteur accidenté, laisse penser qu'il faudra plusieurs années pour reconstituer le scénario détaillé de l'accident qui a conduit aux rejets radioactifs. Tant que les cœurs des trois réacteurs accidentés resteront inaccessibles, les données seront trop partielles pour permettre une reconstitution de la progression des dégradations. Pour cette raison, il paraît prématuré à ce stade de présenter des enseignements de l'accident de Fukushima pour la phénoménologie des accidents de fusion du cœur¹.

Il est à noter que, même si les phénomènes physiques décrits dans cet ouvrage peuvent survenir dans différents modèles de réacteurs à eau sous pression actuellement

1. Après l'accident de Fukushima Daiichi, les conséquences d'agressions externes, telles que les inondations et les séismes, en termes de prévention et de limitation des conséquences d'un accident de fusion de cœur font l'objet d'évaluations plus poussées. En France, le Premier ministre a demandé au président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) de réaliser en 2011 un audit de la sûreté des installations nucléaires françaises, en priorité de celle des réacteurs de puissance, sur cinq points : les risques d'inondation, les risques sismiques, les pertes d'alimentations électriques et les pertes de la « source froide », la gestion opérationnelle des situations accidentelles. À cette fin, l'ASN a demandé aux exploitants d'installations nucléaires de réaliser des évaluations complémentaires de sûreté de leurs installations ; ces évaluations complémentaires de sûreté visent à tirer les premiers enseignements des événements survenus à la centrale de Fukushima Daiichi, d'une part pour apprécier la robustesse des installations nucléaires françaises pour faire face à des événements externes extrêmes, d'autre part pour compléter les mesures de sûreté existantes pour renforcer cette robustesse.

en exploitation ou en projet, français ou étrangers, et aussi largement dans les réacteurs à eau bouillante, tels que ceux du site de Fukushima Daiichi, l'ouvrage est plus spécifiquement consacré aux réacteurs en exploitation et aux réacteurs en construction ou en projet en France : réacteurs à eau sous pression de 2^e génération de 900, 1 300 et 1 450 MWe, réacteurs à eau sous pression de 3^e génération de 1 600 MWe de type EPR (*European Pressurized water Reactor*).

1.2. Structure de l'ouvrage

Après la présente introduction qui décrit la structure de l'ouvrage et rappelle les objectifs de la R&D sur les accidents de fusion du cœur, l'ouvrage présente brièvement les principes de conception et de fonctionnement (chapitre 2) et les principes de sûreté (chapitre 3) des réacteurs en exploitation en France ainsi que les principaux scénarios d'accidents envisagés et étudiés (chapitre 4). L'objectif de ces chapitres n'est pas d'être exhaustif sur ces sujets (le lecteur pourra se reporter aux ouvrages généraux cités en références dans les chapitres correspondants) mais de fournir les éléments nécessaires pour comprendre, d'une part l'approche générale retenue en France pour la prévention et la limitation des conséquences des accidents de fusion du cœur, d'autre part les phénomènes physiques, les études et les analyses décrits dans les chapitres 5 à 8.

Le chapitre 5 est consacré à la description des phénomènes physiques pouvant survenir lors d'un accident de fusion du cœur, dans la cuve du réacteur et dans l'enceinte de confinement, leur enchaînement et les moyens permettant d'en atténuer les effets. Pour chacun des sujets traités, après un rappel des phénomènes physiques mis en jeu, sont décrites les expériences passées, en cours et prévues, pour étudier ces phénomènes ainsi que leur modélisation dont la validation s'appuie sur les résultats d'essais. Les logiciels de calcul qui couplent l'ensemble des modèles et traduisent la meilleure connaissance actuelle des phénomènes sont ensuite détaillés. Un état des connaissances acquises à l'heure actuelle est enfin établi, en tenant compte des lacunes et des incertitudes, et les perspectives en termes notamment de programmes expérimentaux, de développement de modèles et d'outils de simulation numérique sont présentées.

Le paragraphe 5.1 est consacré à la description détaillée du déroulement d'un accident de fusion du cœur dans la cuve du réacteur ; y sont traitées la dégradation du cœur dans la cuve (§ 5.1.1), le comportement du corium² au fond de la cuve (§ 5.1.2), la défaillance éventuelle de la cuve (§ 5.1.3) et la fusion en pression (§ 5.1.4). Le paragraphe 5.2 concerne les phénomènes pouvant conduire à une défaillance précoce³ de l'enceinte de confinement, à savoir l'échauffement direct des gaz de l'enceinte de confinement (§ 5.2.1), le « risque hydrogène » (§ 5.2.2) et l'explosion de vapeur (§ 5.2.3). L'érosion du radier en béton de l'enceinte par le corium, qui est un des phénomènes pouvant

-
2. Mélange de matériaux en fusion résultant de la dégradation des structures composant le cœur du réacteur (crayons combustibles, barres de commande, grilles de maintien, plaques du cœur).
 3. Par « précoce », on entend dans un temps très court tel qu'il n'est pas possible de mettre en place des dispositions permettant de limiter la dispersion de radioactivité dans l'environnement ainsi que ses conséquences éventuelles sur les populations.

mener à une défaillance différée⁴ de l'enceinte, est abordée dans le paragraphe 5.3. Le paragraphe 5.4 est dédié à la phénoménologie de la rétention et du refroidissement du corium en cuve, par renoyage du circuit primaire, et hors cuve, par renoyage du puits de cuve (§ 5.4.1), le refroidissement du corium sous eau en cours d'interaction corium-béton (§ 5.4.2) et l'étalement du corium (§ 5.4.3). Le paragraphe 5.5 a trait au relâchement et au transport des produits de fission (PF). Y sont abordés le relâchement des produits de fission (PF) en cuve (§ 5.5.2) et hors cuve (§ 5.5.4), le transport des PF dans les circuits primaire et secondaire (§ 5.5.3), le comportement des aérosols (§ 5.5.5) et la chimie des PF (§ 5.5.6) dans l'enceinte de confinement.

Le chapitre 6 est consacré au comportement des enceintes de confinement lors d'un accident de fusion du cœur. Après un rappel des chemins de fuite possibles des substances radioactives à travers les différentes enceintes dans le cas des accidents retenus dans le dimensionnement, sont présentées les études du comportement mécanique des différentes enceintes sous les chargements pouvant résulter des agressions liées aux phénomènes décrits dans le chapitre 5. Le chapitre 6 aborde également les possibilités de bipasse⁵ de l'enceinte de confinement dans une situation d'accident de fusion du cœur.

Le chapitre 7 présente les enseignements tirés pour la phénoménologie des accidents de fusion du cœur et pour l'amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires :

- de l'accident de Three Mile Island qui s'est produit le 28 mars 1979 aux États-Unis ;
- de l'accident de Tchernobyl qui s'est produit le 26 avril 1986 en territoire ukrainien de l'Union soviétique ;
- des essais intégraux de simulation d'accident de fusion de cœur du programme de recherche international Phébus-PF qui ont eu lieu entre 1993 et 2004.

Pour les raisons invoquées plus haut (§ 1.1), il est à ce stade prématuré de tirer des enseignements précis pour la phénoménologie des accidents de fusion du cœur de l'accident de Fukushima Daiichi ; il n'y a donc pas de paragraphe spécifique consacré à cet accident dans cet ouvrage. Le lecteur pourra se reporter au rapport public donné en référence [1] qui décrit les premières analyses de l'accident et de ses conséquences un an après l'accident.

Enfin, le chapitre 8 présente un état des développements en matière de qualification et de validation des principaux logiciels de calcul traitant des « accidents graves », qui capitalisent et valorisent les connaissances acquises notamment grâce aux programmes de recherche : ASTEC, co-développé par l'IRSN et son homologue allemand, la GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit), MAAP-4, développé par la société FAI (Fauske & Associates, Inc.) aux États-Unis et utilisé par EDF, MELCOR, développé par SNL (Sandia National Laboratories) aux États-Unis pour l'US NRC (US Nuclear Regulatory Commission).

4. « Différé » est utilisé par opposition à « précoce ».

5. Un accident avec bipasse de l'enceinte de confinement peut conduire à un relâchement direct de produits radioactifs dans l'environnement.

1.3. Objectifs et démarche de la R&D sur les accidents de fusion du cœur

1.3.1. Objectifs

En complément de l'analyse du retour d'expérience, qui comprend l'analyse des incidents et des accidents, la recherche en sûreté, et notamment celle sur les accidents de fusion du cœur, est indispensable au maintien et à l'amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires en exploitation.

La recherche et les études concernant les accidents de fusion du cœur doivent permettre de mieux comprendre les conditions d'occurrence et le déroulement des accidents afin d'améliorer leur prévention mais aussi de mieux connaître leur phénoménologie dans l'objectif de développer des dispositions de nature à arrêter leur progression et limiter leurs conséquences. À cette fin, les résultats de la recherche permettent d'élaborer, sur la base du patrimoine d'expériences et de connaissances, des outils de simulation et des modèles capables de prédire le déroulement et les conséquences des accidents, ces outils étant utilisés dans les études de sûreté des installations nucléaires.

Les connaissances ainsi acquises grâce à la recherche peuvent également conduire à développer de nouveaux concepts pour l'amélioration de la sûreté permettant de réduire les possibilités et les conséquences d'accidents de fusion du cœur. On peut en particulier citer les recherches portant sur le récupérateur de matériaux fondus développé pour le réacteur EPR en vue de limiter les conséquences d'un accident de fusion du cœur qui sont présentées dans le paragraphe 5.4.3.

1.3.2. Une R&D de dimension internationale

Déjà avant l'accident de Three Mile Island qui a eu lieu en 1979 aux États-Unis (§ 7.1), les accidents de fusion du cœur avaient fait l'objet aux États-Unis d'études probabilistes de sûreté visant à évaluer les risques de rejets radioactifs dans l'environnement et les conséquences de ces rejets sur les populations [2]. Ces études étaient largement considérées à l'époque comme théoriques.

Des programmes de recherche plus développés concernant les accidents de fusion du cœur ont démarré au début des années 1980, à la suite de la prise de conscience qui a résulté de l'accident de Three Mile Island, qui a clairement mis en évidence qu'un accident de fusion du cœur d'un réacteur nucléaire était possible. La plupart des pays exploitant des réacteurs nucléaires (États-Unis, Finlande, France, Japon, Allemagne, Belgique, Canada, Corée du Sud, Royaume-Uni, Pays-Bas, Suisse, Suède, Russie et pays d'Europe centrale et orientale [Hongrie, République Tchèque, Slovaquie, Slovénie, Lituanie, Ukraine]), ont conduit des programmes de recherche dans le domaine. L'accident de Tchernobyl survenu en 1986 en Ukraine (§ 7.2) n'a fait que renforcer la nécessité de poursuivre et de développer davantage les recherches dans le domaine. Chacun des pays susmentionnés s'est en général attaché à un ou plusieurs aspects particuliers du sujet, l'ampleur du domaine ne permettant pas à tous les pays de couvrir l'ensemble des phénomènes dans le cadre de programmes de recherche nationaux.

Les États-Unis ont été les premiers à engager une recherche d'ampleur dans le domaine. Les programmes de recherche étaient pilotés par l'US NRC, s'appuyant sur des laboratoires nationaux, notamment l'EPRI (Electric Power Research Institute), les laboratoires SNL et l'ORNL (Oak Ridge National Laboratory) [3].

En France, les premiers grands programmes de recherche dans le domaine des accidents de fusion du cœur ont été menés à partir du début des années 1980 avec en particulier le programme Phébus CSD (Combustible sévèrement dégradé). Compte tenu de l'importance de son parc nucléaire, la France a été amenée, tout comme les États-Unis, à développer des programmes, au niveau national ou international, sur presque tous les sujets relatifs aux accidents de fusion du cœur. Ces recherches sont principalement menées par l'IRSN, le CEA, EDF et AREVA. Tous ces organismes développent ou participent au développement de logiciels de simulation et possèdent des installations dans lesquelles sont réalisés des essais.

La recherche dans le domaine des accidents de fusion du cœur impliquant, de par leur extrême complexité, des ressources humaines et financières très importantes, les collaborations entre les acteurs du nucléaire, industriels, centres de recherche et organismes de sûreté, à l'échelle nationale et internationale, ont été nombreuses. En France, l'IRSN, le CEA, EDF et AREVA ont mené des programmes communs sur un grand nombre de sujets et participé à des programmes internationaux, notamment aux actions de recherche soutenues par la Commission européenne dans le cadre de ses Programmes communs de recherche et développement (PCRD) et à celles menées sous l'égide de l'OCDE. L'IRSN a en particulier conduit à partir de la fin des années 1980, avec le CEA, le programme d'essais intégraux Phébus-PF qui a structuré l'effort de recherche international pour ce qui concerne les accidents de fusion du cœur (§ 7.3).

Dans le cadre du 6^e PCRD, un « réseau d'excellence » appelé SARNET (*Severe Accident Research NETWORK of excellence*), coordonné par l'IRSN, a été mis en place afin d'optimiser l'utilisation des moyens de recherche disponibles et de faire progresser les connaissances acquises au niveau européen dans le domaine des accidents de fusion du cœur. SARNET a regroupé de 2004 à 2008 une cinquantaine d'organisations appartenant à 19 pays membres de l'Union européenne ainsi que la Suisse. Outre l'amélioration des connaissances scientifiques dans le domaine des accidents de fusion du cœur, ce réseau a également permis de définir de nouveaux programmes de recherche, de mettre en place les ressources nécessaires pour assurer la pérennité des acquis et de diffuser plus largement les connaissances. Le fonctionnement de ce réseau a abouti en 2008 à une vision harmonisée de l'état des connaissances et des principales incertitudes restantes dans le domaine des accidents de fusion du cœur. Des axes prioritaires de progrès ont ainsi été identifiés et de nouveaux programmes de recherche ont été proposés afin de combler les lacunes restantes [4]. Les activités du réseau, incluant les nouveaux sujets de recherche proposés, se poursuivent dans le cadre du 7^e PCRD, le réseau étant élargi avec la participation de l'US NRC, de l'AECL (Atomic Energy Canada Limited) et de deux organismes (KINS et KAERI) de la Corée du Sud. Le présent ouvrage bénéficie du consensus scientifique atteint dans ce cadre [4].

De nombreuses collaborations internationales ont été également mises en place dans le cadre de l'OCDE. Les travaux du Comité sur la sûreté des installations

nucléaires (CSIN) de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE favorisent le lancement et la réalisation de programmes de recherche en vue d'aboutir à un consensus sur des questions scientifiques et techniques d'intérêt commun, notamment dans le domaine des accidents de fusion du cœur [5]. Le choix des sujets est fait dans le cadre de groupes de travail qui identifient les questions non complètement résolues, ainsi que les programmes ou installations qui pourraient faire l'objet de collaborations internationales (voir, par exemple, la référence [6]). L'OCDE, n'ayant pas de budget propre pour ce type d'actions, joue un rôle de facilitateur et s'appuie sur les contributions des participants.

Dans le domaine des outils de simulation, le CSIN met en place des groupes de travail d'experts afin d'établir des matrices de validation ; il organise également des ISP (*International Standard Problem*) qui consistent à comparer à des résultats expérimentaux, les résultats obtenus sur un problème donné par diverses équipes mettant en œuvre différents logiciels de calcul, ce qui conduit à des améliorations de ces logiciels [7]. Enfin, des rapports sur l'état de l'art (*State Of the Art Report*) sont réalisés sur des sujets d'intérêt commun (distribution d'hydrogène, combustion d'hydrogène, comportement des aérosols par exemple) ; ces SOAR permettent d'avoir une vue aussi large que possible sur un problème donné grâce à l'état des connaissances et des incertitudes qui demeurent ; des orientations peuvent être recommandées [5].

1.3.3. Démarche

La recherche sur les accidents de fusion du cœur a pour objectif de produire et de collecter des informations scientifiques permettant de mieux comprendre et de décrire les phénomènes physiques mis en jeu au cours d'un tel accident. Ces phénomènes physiques présentent en général des spécificités rarement rencontrées et étudiées hors du domaine nucléaire. Ils concernent des matériaux spécifiques, dont la chimie et les interactions sont complexes et qui doivent être étudiés dans des conditions extrêmes de température et parfois de radioactivité. De plus, la physique des accidents de fusion du cœur mêle les disciplines de l'énergétique à la physique des matériaux en passant par la physique des aérosols et la physico-chimie des produits de fission. Les couplages entre phénomènes élémentaires relevant de disciplines techniques ou scientifiques différentes doivent être pris en compte. Ces spécificités rendent difficiles l'approche expérimentale et l'approche théorique.

Une difficulté particulière vient s'ajouter pour l'approche expérimentale : la reproduction fidèle de tout ou partie d'un transitoire accidentel est rarement envisageable, pour des questions d'échelle ainsi que pour diverses raisons technologiques liées entre autres à la radioactivité des matériaux impliqués qui ne peuvent être mis en œuvre expérimentalement qu'en petites quantités. Comme il est impossible de réaliser dans ce domaine des essais à l'échelle 1 et de reproduire toutes les situations envisageables, il est nécessaire de conduire des essais élémentaires (ou expériences dites « analytiques ») visant à une compréhension détaillée des phénomènes élémentaires participant à la situation étudiée, et de confirmer grâce à des essais plus globaux que rien n'a été oublié, compte tenu des interactions entre ces différents phénomènes physiques. Le tout doit se faire à des échelles compatibles avec les capacités techniques et économiques des installations

tout en préservant au mieux la représentativité pour être en mesure d'extrapoler les connaissances acquises à l'échelle d'un réacteur de puissance, souvent *via* des modèles qualifiés.

Ces caractéristiques conduisent à privilégier une démarche de recherche combinant :

- des expériences analytiques qui étudient les phénomènes élémentaires, en limitant au mieux les effets d'autres phénomènes, dans un domaine de variation des paramètres caractéristique de ce qui est attendu lors d'un accident de fusion de cœur ; la base de résultats obtenue permet de développer et de qualifier des modèles et de déterminer les incertitudes qui leur sont associées ;
- l'assemblage et le couplage de l'ensemble des modèles élémentaires au sein de logiciels de calcul présentant une capacité prédictive ;
- des expériences plus globales ayant pour but de simuler autant que possible les situations qui pourraient être rencontrées dans un réacteur de puissance lors d'un scénario accidentel réel. Ces expériences globales permettent de valider les outils de calcul, de s'assurer qu'aucun phénomène important n'a été oublié et que le couplage des phénomènes est correctement modélisé. Si des comportements imprévus sont constatés, cela conduit à revoir la modélisation, voire à lancer une nouvelle campagne d'expériences analytiques. En raison de leur complexité et de leur coût généralement élevé, les essais globaux sont peu nombreux. Chacun des essais mettant en jeu un ensemble de phénomènes couplés, leur interprétation est une tâche souvent difficile. Un exemple marquant de ce type d'essais est constitué par le programme Phébus-PF dont les enseignements sont présentés dans le paragraphe 7.3 du présent ouvrage.

Les logiciels de calcul sont le réceptacle des connaissances produites par l'analyse des données expérimentales. C'est donc sur eux que repose très largement la transposition des résultats expérimentaux au cas des réacteurs de puissance. Compte tenu de l'importance de ces logiciels de calcul, il est primordial d'évaluer leur capacité à décrire correctement l'accident. C'est ce qui explique l'importance accordée à la qualification physique des logiciels de calcul.

L'ensemble des données expérimentales utilisées (expériences analytiques et expériences globales) constituent la base expérimentale de qualification physique du logiciel de calcul. Malgré le degré de sophistication atteint de nos jours par les logiciels de calcul développés dans le domaine des accidents de fusion du cœur (chapitre 8), ces outils de calcul restent tous entachés de nombreuses incertitudes qui doivent être considérées avec soin lors de leur utilisation pour des études de sûreté. Ces incertitudes ont deux origines principales :

- les incertitudes résultant de la simplification des modèles physiques introduits dans les logiciels de calcul, des limites de représentativité de la base expérimentale de qualification du logiciel, des imprécisions sur les schémas de résolution numérique ;
- les incertitudes résultant des simplifications introduites dans les outils de simulation pour la description d'une installation réelle.

Le lecteur aura pu se faire sur la base de cette description un peu théorique une idée du fonctionnement de la recherche dans le domaine des accidents de fusion du cœur. La démarche explicitée ici sera illustrée au chapitre 5 de l'ouvrage pour chacun des phénomènes physiques mis en jeu.

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] N. Rasmussen *et al.*, Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400 (NUREG-75/014), Washington DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1975.
- [3] Voir le site de la US NRC où figurent les rapports NUREG dans le domaine des accidents de fusion du cœur : <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/>.
- [4] (a) T. Albiol *et al.*, SARNET: Severe accident research network of excellence, *Progress in Nuclear Energy* **52**, 2-10, 2010.
(b) B. Schwinges *et al.*, Ranking of severe accident research priorities, *Progress in Nuclear Energy* **52**, 11-18, 2010.
- [5] Voir le site de l'OCDE/NEA/CSNI où figurent les rapports NEA/CSNI dans le domaine des accidents de fusion du cœur : <http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/>.
- [6] Nuclear Safety Research in OECD Countries: Support Facilities for Existing and Advanced Reactors (SFEAR), Nuclear Safety, NEA/CSNI/R(2007)6, ISBN 978-92-64-99005-0, 2007.
- [7] CSNI International Standard Problems: Brief Description (1975-1999), NEA/CSNI/R(2000)5, 2000.