

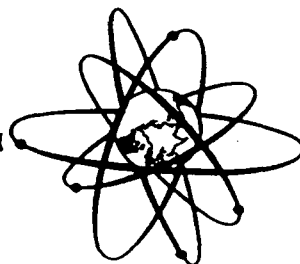
OCDE
AEN

**ÉTUDE DU CNRA SUR LES DÉMARCHES
RÉGLEMENTAIRES POUR LA GESTION D'UN
ACCIDENT DE CONFINEMENT**

**Rapport relatif à une étude sur les démarches réglementaires pour
la gestion d'un accident de confinement
établi pour le compte du
Comité sur les Activités Nucléaires Réglementaires (CANR)**

*par MM. M. LEWIS et R. GILLI de la
Division principale de la sécurité des installations nucléaires, Suisse,
à partir des réponses à un questionnaire du CANR*

SEPTEMBRE 1992



**COMITE SUR LES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES RÉGLEMENTAIRES (CANR)
OCDE AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE**

**Le Seine Saint-Germain --- 12, boulevard des Iles
92130 Issy-les-Moulineaux, France**

OCDE

La Convention portant création de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) a été signée le 14 décembre 1960.

En vertu de l'article 1 de cette Convention, l'OCDE a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, envoi de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Signataires de la Convention sont actuellement les suivants : Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Japon, Luxembourg, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse et Turquie.

AEN

L'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire (AEN) groupe aujourd'hui tous les pays Membres européens de l'OCDE, ainsi que l'Australie, le Canada, les Etats-Unis et le Japon. La Commission des Communautés Européennes participe à ses travaux.

L'AEN a pour objectif principal de promouvoir la coopération entre les gouvernements de ses pays participants en ce qui concerne le développement de l'énergie nucléaire considéré du point de vue de la sûreté et de la réglementation, et l'évaluation du rôle future l'énergie nucléaire en tant que facteur contribuant au progrès économique.

L'AEN collabore étroitement avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, avec laquelle elle a conclu un Accord de coopération, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine nucléaire.

CSIN

Le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'AEN est un comité international composé de chercheurs et d'ingénieurs. Il a été constitué en 1973 en vue de développer et de coordonner les activités de l'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire en ce qui concerne les aspects techniques de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires dans la mesure où ils affectent la sûreté de ces installations. Le Comité a pour but de favoriser la coopération internationale en matière de sûreté nucléaire entre les pays Membres de l'OCDE.

CANR

Le Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) de l'AEN constitue un cadre international pour des échanges d'informations et de données d'expérience entre les organismes compétents en matière de réglementation. Etabli en 1989, il est responsable du programme de l'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire en ce qui concerne la réglementation ainsi que les régimes d'autorisation et d'inspection des installations nucléaires, pour ce qui est du domaine de la sûreté.

PREFACE

C'est le Sous-Comité chargé des questions d'autorisation du Comité sur la sûreté des installations nucléaires qui, à l'occasion d'une réunion spéciale tenue en juin 1988, a pris l'initiative de faire établir le présent rapport. Les participants à cette réunion ont examiné des rapports établis par le Groupe d'experts à haut niveau sur la gestion des accidents graves, concernant les systèmes d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement ["Filtered Containment Venting Systems"] (qui avaient été récemment imposés par certains pays Membres) et le rôle de l'enceinte de confinement dans la gestion des accidents graves ["The Role of Containment in Severe Accident Management"].

A la suite des débats tenus lors de cette réunion, il a été décidé que l'AEN entreprendrait une étude en vue de déterminer les prescriptions réglementaires en vigueur, et de faire le point de leur application dans les centrales nucléaires des pays Membres. Cette étude a été lancée en juillet 1988, mais la compilation des résultats obtenus a mis en évidence leur caractère incomplet, en raison de l'éventail de filières de réacteurs et des scénarios d'accidents couverts par le questionnaire, ainsi que de l'évolution des démarches adoptées. Le Sous-Comité a donc décidé de procéder à une seconde étude afin de compléter l'ensemble des réponses.

Dans l'intervalle, le Sous-Comité chargé des questions d'autorisation a été dissous et le Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) a été créé, le mandat de ce dernier reprenant les compétences précédemment dévolues au Sous-Comité. Le nouveau Comité s'est réuni pour la première fois en novembre 1989 et est convenu de poursuivre cette étude en tant que l'un de ses premiers projets. Pour toutes ces raisons, il s'est avéré nécessaire de procéder à la mise à jour des informations déjà rassemblées.

Suite à une offre du Délégué de la Suisse auprès du CANR, la Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires de ce pays s'est chargée d'analyser les informations ainsi mises à jour, et M. Mike Lewis a entrepris cette tâche en 1990. Malheureusement, M. Lewis est prématurément décédé par suite de maladie ; l'AEN s'honore du fait que M. Lewis est contribué à ce projet. Grâce à la Commission fédérale, M. Gilli, un collègue de M. Lewis, a repris le projet et l'a mené à bonne fin.

Il serait superflu de reproduire ici les conclusions énoncées clairement à la fin de chaque section du rapport. Cependant, le lecteur trouvera peut être utiles les rapides commentaires suivants :

- Dans de nombreux pays et dans plusieurs domaines (en ce qui concerne notamment l'éventage-filtration et le contrôle de l'hydrogène), les problèmes sont encore à l'étude. A mesure que ces études progresseront, il y aura des avantages importants à tirer d'un dialogue international.
- Le chapitre consacré aux questions diverses fait apparaître une grande variation dans les démarches adoptées. A titre de projet futur, il sera utile de classer ces questions et de les aborder séparément.
- Alors qu'il semble y avoir une façon commune d'appréhender les questions réglementaires liées à la sûreté de l'enceinte de confinement, nombreuses sont les méthodes permettant de les aborder ; en relevant les différences dans ces méthodes, le présent rapport donne aux responsables de la réglementation l'occasion de les rationaliser et de voir si d'éventuels changements sont nécessaires.

TABLE DES MATIERES

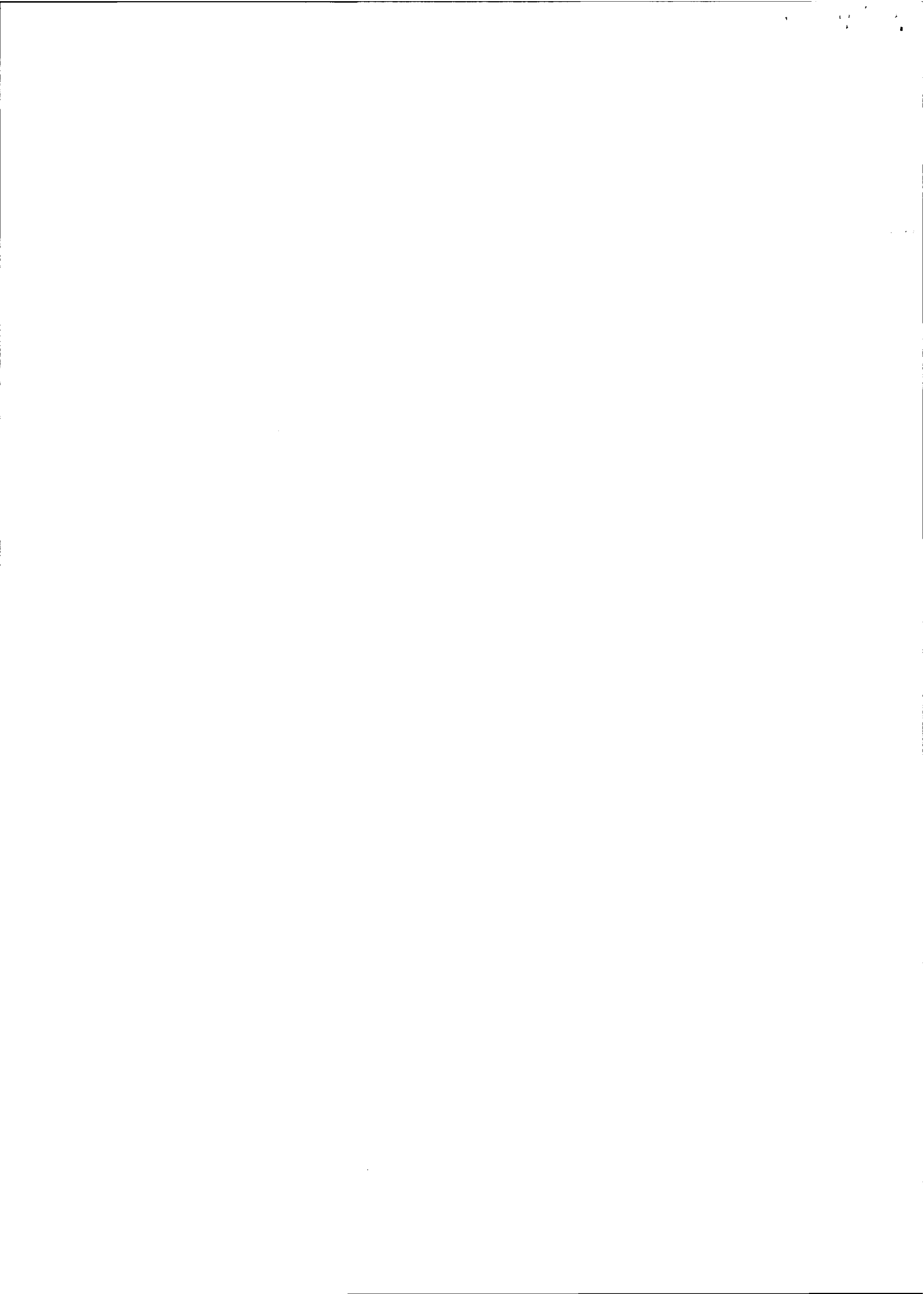
Sujet	Page
I. Contrôle de l'hydrogène	
I.1 Introduction	1
I.2 Réacteurs à eau sous pression	1
1. Contrôle de l'hydrogène dans les REP (ADR)	1
2. Contrôle de l'hydrogène dans les REP (Accidents graves)	2
2.2.1 Prescriptions réglementaires	2
2.2.2 Inertisation préalable	3
2.2.3 Inertisation à postériori	3
2.2.4 Système d'allumage	3
2.2.5 Conclusions relatives aux REP	3
I.3 Réacteurs à eau bouillante	4
1. Contrôle de l'hydrogène dans les REB (ADR)	4
2. Contrôle de l'hydrogène dans les REB (Accidents graves)	5
3. Conclusions relatives aux REB	5
II. Condensation de la vapeur	
II.1 Introduction	6
II.2 Réacteurs à eau sous pression	6
1. Condensation de la vapeur dans les REP (ADR)	6
2. Condensation de la vapeur dans les REP (Accidents graves)	7
II.3 Réacteurs à eau bouillante	7
1. Condensation de la vapeur dans les REB (ADR)	7
2. Condensation de la vapeur dans les REB (Accidents graves)	7
3. Conclusions relatives aux REB	8
Tableaux 1 à 4	9-13

III. Éventage de l'enceinte de confinement

III.1	Introduction	14
	2. Éventage de l'enceinte de confinement des REP	14
	3. Éventage de l'enceinte de confinement des REB	15
	4. Éventage passif	16
	5. Résumé	16-17
	Tableaux 5 et 6	18-19

IV. Questions diverses

IV.1	Introduction	20
	2. Noyage de l'enceinte de confinement	20
	3. Mesures de prévention applicables aux ouvertures préexistantes	20
	4. Mesures spéciales en vue de sauvegarder l'intégrité de l'enceinte de confinement	21
	5. Instrumentation spéciale	21
	6. Systèmes de filtration de l'air de la salle de commande	21
	7. Dépressurisation délibérée du circuit primaire de refroidissement	21
	8. Conclusions	22
	Tableau 7	23



III. Éventage de l'enceinte de confinement

III.1	Introduction	14
	2. Éventage de l'enceinte de confinement des REP	14
	3. Éventage de l'enceinte de confinement des REB	15
	4. Éventage passif	16
	5. Résumé	16-17
	Tableaux 5 et 6	18-19

IV. Questions diverses

IV.1	Introduction	20
	2. Noyage de l'enceinte de confinement	20
	3. Mesures de prévention applicables aux ouvertures préexistantes	20
	4. Mesures spéciales en vue de sauvegarder l'intégrité de l'enceinte de confinement	21
	5. Instrumentation spéciale	21
	6. Systèmes de filtration de l'air de la salle de commande	21
	7. Dépressurisation délibérée du circuit primaire de refroidissement	21
	8. Conclusions	22
	Tableau 7	23



Étude du CANR sur les démarches réglementaires pour la gestion d'un accident de confinement

Partie I

Contrôle de l'hydrogène

I.1 Introduction

L'expression "gestion des accidents" est utilisée à propos d'un accident grave, s'agissant d'un accident hors dimensionnement. Il peut exister des prescriptions réglementaires tant pour les accidents de dimensionnement (ADR) que pour les accidents graves ; c'est pourquoi il est nécessaire de les examiner séparément. Comme certaines réponses des pays Membres n'établissaient pas de distinction claire entre ces différentes prescriptions, les tableaux présentent l'interprétation de l'auteur.

I.2 Réacteurs à eau sous pression (REP)

I.2.1. Contrôle de l'hydrogène dans les REP (ADR)

La majorité des REP sont dotés de grandes enceintes de confinement sous atmosphère sèche. Cela signifie que l'enceinte de confinement est conçue pour supporter la mise en pression à court terme résultant de l'accident de dimensionnement (accident de perte de réfrigérant primaire = APRP), sans recours à un bassin de suppression de pression. C'est pourquoi, le volume des enceintes de confinement est important et leur pression de dimensionnement est comprise entre 2,5 et 5 bars (surpression).

Dans le cas des ADR, le dégagement d'hydrogène résultant de la réaction eau-zirconium est beaucoup trop faible pour atteindre le seuil d'inflammabilité des mélanges hydrogène/air. En revanche, la radiolyse de l'eau peut produire suffisamment d'hydrogène à long terme. Les enceintes de confinement des REP doivent donc aussi faire face (à long terme) à des concentrations d'hydrogène susceptibles de brûler. Le tableau 1 donne un aperçu des mesures de contrôle de l'hydrogène applicables aux REP.

Dans la plupart des pays, il existe des prescriptions réglementaires visant à empêcher la formation, à la suite des ADR, de concentrations d'hydrogène susceptibles de brûler. Avant l'accident de TMI-2, la majorité des pays admettait que la purge de l'enceinte de confinement était un moyen d'y parvenir. Après TMI-2, on a noté une sensibilisation accrue au problème

susceptible d'être posé par l'hydrogène. Un échauffement du coeur, supérieur à la valeur calculée pour les accidents de dimensionnement, peut produire beaucoup plus d'hydrogène, et les limites d'inflammabilité dans l'enceinte de confinement peuvent être atteintes plus tôt que ne l'indiquent les calculs de dimensionnement. Etant donné que la production d'hydrogène va de pair avec la libération de produits de fission, la purge de l'enceinte de confinement n'est plus considérée comme un moyen acceptable de mitigation du taux d'hydrogène. Les dispositifs de recombinaison, installés à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte de confinement, sont capables de ramener la concentration d'hydrogène en dessous du seuil d'inflammabilité. C'est le moyen généralement admis pour le contrôle de l'hydrogène.

Ces dispositifs reposent habituellement sur la recombinaison thermique (et non catalytique). Le débit, par rapport au volume de l'enceinte de confinement, est assez faible mais suffisant pour faire face à la production d'hydrogène due à la radiolyse. Les dispositifs de recombinaison peuvent couvrir certaines situations hors dimensionnement, mais pas un accident de fusion du coeur. Leur domaine d'utilisation est habituellement limité à une concentration en hydrogène de 5% environ. Les dispositifs externes de recombinaison, s'ils sont communs à plusieurs tranches, nécessitent un temps de mise en oeuvre qui n'est pas actuellement compatible avec le déroulement d'un accident de fusion du coeur.

Quant aux enceintes à glace (REP I), les volumes de confinement et les pressions de dimensionnement sont inférieurs à ceux des grandes enceintes sous atmosphère sèche. Par conséquent, le problème de l'hydrogène est plus sérieux. Toutefois, avec des enceintes à glace, les dispositifs de recombinaison sont aussi suffisants pour les ADR.

I.2.2. Contrôle de l'hydrogène dans les REP (Accidents graves)

Le risque imputable à l'hydrogène au cours d'un accident grave dépend du modèle d'enceinte de confinement et du type de séquence accidentelle. Même si les risques sont comparables, il se peut qu'un pays les accepte et d'autres pas. C'est pourquoi il n'existe pas de consensus au plan mondial. Il est possible, semble-t-il, de distinguer au moins deux groupes de pays : le premier qui ne juge pas nécessaire, dans l'immédiat, de s'occuper du problème de l'hydrogène, et le second qui exige et attend une solution à court terme (voir tableau 1).

I.2.2.1 Prescriptions réglementaires

Une prescription réglementaire caractéristique consisterait à imposer un contrôle de l'hydrogène fondé sur une production d'hydrogène correspondant à 50 à 100% de la quantité produite par la réaction eau-zirconium. Les États-Unis (uniquement pour les enceintes à condenseur à glace), l'Italie et la Suisse appliquent une telle prescription, et l'Allemagne, l'Espagne et les Pays-Bas envisagent d'y recourir. La Finlande impose l'hypothèse de dommages graves au coeur.

I.2.2.2 Inertisation préalable

La mise préalable sous atmosphère inerte de l'enceinte de confinement d'un REP aurait une influence importante sur l'exploitation de la centrale. C'est pourquoi aucun pays, à l'exception des Pays-Bas, n'envisage cette solution.

I.2.2.3 Inertisation à posteriori

La mise à posteriori sous atmosphère inerte a été étudiée sur la base de l'emploi de N_2 , de CO_2 ou de Halon. La plupart des pays ont exclu cette solution, bien que les Pays-Bas et la Suisse ne l'aient pas définitivement rejetée. L'inertisation à posteriori a pour inconvénient d'augmenter la pression dans l'enceinte. Le recours au Halon, qui se traduirait par l'augmentation de pression la moins forte, est controversé à cause de ses propriétés chimiques. La préférence va donc à l'inertisation par le CO_2 . Il est possible de se référer à l'expérience acquise dans le cas des dispositifs classiques d'extinction des feux par du CO_2 .

I.2.2.4 Système d'allumage

Des systèmes d'allumage sont installés dans les enceintes à glace (Etats-Unis, Finlande) qui sont comparables aux enceintes de confinement de type III des REB, car il est possible de localiser la libération d'hydrogène et donc de le brûler avec des flammes stables.

Dans le cas des grandes enceintes de confinement de REP sous atmosphère sèche, les systèmes d'allumage ne sont pas une solution simple à mettre en oeuvre. L'existence de différents compartiments dans ces enceintes et de différentes séquences accidentelles ne permet pas de porter un jugement déterministe sur l'utilité des systèmes d'allumage. Cependant, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Suisse estiment que la solution de ce problème viendra des allumeurs. Ces pays utilisent des enceintes de confinement en acier et sont probablement plus préoccupés par l'hydrogène que les pays ayant recours à des enceintes en béton. Comme les enceintes de confinement des REP sont compartimentées et que chaque compartiment a besoin d'un dispositif de contrôle de l'hydrogène, le nombre des allumeurs peut être important. La préférence va par conséquent aux allumeurs catalytiques (qui n'ont pas besoin d'alimentation électrique) ou aux allumeurs à étincelles alimentés par batteries. L'Allemagne étudie également l'utilisation de dispositifs catalytiques passifs de recombinaison pour recombinaison H_2 à des concentrations inférieures aux limites d'inflammabilité.

I.2.2.5 Conclusions relatives aux REP

En ce qui concerne les accidents de dimensionnement, le contrôle de l'hydrogène au moyen de dispositifs de recombinaison est une solution généralement admise. Quant aux accidents graves, le contrôle de l'hydrogène est encore à l'étude. Les prescriptions réglementaires diffèrent, couvrant les solutions suivantes :

- pas de prescription ;
- prescription visant le "refroidissement du coeur dégradé" ;
- prescription visant les séquences de fusion du coeur.

Les systèmes d'allumage constituent le moyen de contrôle de l'hydrogène le plus prometteur au cours d'accidents graves. Jusqu'à présent, seules les enceintes à glace sont équipées de tels systèmes. Dans le cas des grandes enceintes de confinement des REP sous atmosphère sèche, il est difficile d'obtenir une confirmation déterministe de la faisabilité des allumeurs pour tous les compartiments et toutes les séquences accidentelles. L'inertisation à posteriori est réalisable, mais aucun pays n'a encore pris de décision à ce sujet.

I.3 Réacteurs à eau bouillante (REB)

I.3.1. Contrôle de l'hydrogène dans les REB (ADR)

Tous les REB considérés dans le présent rapport sont dotés d'enceintes de confinement à suppression de pression. Cela signifie que la vapeur est condensée dans un bassin d'eau et donc que le volume de l'enceinte est inférieur à celui des grandes enceintes sous atmosphère sèche des REP. En conséquence le contrôle de l'hydrogène est plus important dans le cas des REB. Le tableau 2 donne un aperçu des mesures de contrôle de l'hydrogène applicables aux REB.

Certains pays, les États-Unis par exemple, ont initialement fixé la valeur du pourcentage de la réaction eau-zirconium qui devait être admise en hypothèse dans le cas de l'accident de dimensionnement. Avec cette hypothèse, nombre de petites enceintes de confinement (REB de type I et II) étaient proches de la limite d'inflammabilité. C'est pourquoi tous les pays, à l'exception de l'Allemagne et de la Suisse, ont prescrit une mise préalable sous atmosphère inerte à l'aide d'azote.

Même dans des enceintes de confinement mises sous atmosphère inerte, la radiolyse de l'eau peut produire à long terme des mélanges combustibles d'hydrogène et d'oxygène. A la suite de l'accident de TMI-2, l'éventage ou d'autres moyens n'ont plus été admis pour le contrôle de l'hydrogène qui a donc exigé le recours à des dispositifs de recombinaison. A cause de problèmes d'espace, la plupart des dispositifs de recombinaison équipant des REB sont situés en dehors de l'enceinte de confinement.

Les enceintes de confinement de type Mark III (REB de type III) ont des volumes supérieurs (comparables à ceux des enceintes à condenseur à glace de REP). Dans ce cas, les dispositifs de recombinaison sont suffisants pour faire face à la radiolyse à long terme. En ce qui concerne le court terme, un système de mélange entre le volume d'expansion et le volume de condensation est nécessaire pour diluer l'hydrogène dans le volume d'expansion et, finalement, égaliser les concentrations d'hydrogène.

1.3.2. Contrôle de l'hydrogène dans les REB (Accidents graves)

Tous les pays équipés de REB appliquent des prescriptions réglementaires prévoyant des mesures relatives aux accidents hors dimensionnement. Les États-Unis ont défini un accident avec "refroidissement du cœur dégradé" s'accompagnant d'une réaction eau-zirconium de 75%, alors que d'autres pays ont fixé cette valeur à 100%, ou postulent uniquement l'accident de fusion du cœur. Dans le cas des enceintes de confinement mises sous atmosphère inerte (REB de type I et II), aucune mesure supplémentaire n'a été jugée nécessaire. Quant aux enceintes de confinement qui ne sont pas sous atmosphère inerte (Allemagne, Suisse), cette mise sous atmosphère inerte est désormais requise. Dans le REB de type II allemand, seul le volume de condensation est sous atmosphère inerte.

Les enceintes de confinement des REB de type III sont plus grandes et renferment des équipements auxquels le personnel de la centrale doit pouvoir accéder. C'est pourquoi, la mise préalable sous atmosphère inerte n'est pas possible et des allumeurs (bougies électriques à fil incandescent) ont été installés. L'alimentation électrique des allumeurs fait l'objet de débats (courant alternatif produit par un groupe électrogène diesel ou par une batterie).

En ce qui concerne les REB de type I et II, des solutions, autres que l'inertisation préalable ou à posteriori, ou encore les systèmes d'allumage, ont été étudiées par certains pays. Aucun de ces pays n'a adopté de solution définitive autre que la mise préalable sous atmosphère inerte. Seule l'Allemagne étudie pour les REB de type II une option associant l'inflammation et la mise sous atmosphère inerte, de manière à permettre au personnel d'accéder au volume d'expansion.

1.3.3. Conclusions relatives aux REB

Les enceintes de confinement des REB sont, en raison de leur taille, plus vulnérables à la production d'hydrogène. Néanmoins, les mesures adoptées sont uniformes au plan international et conviennent aussi bien aux ADR (dispositifs de recombinaison) qu'aux accidents graves (mise préalable sous atmosphère inerte dans le cas des REB de type I et II et dispositifs d'allumage dans le cas des REB de type III). Seuls les REB de type II allemands ont un volume d'expansion, qui n'est pas sous atmosphère inerte. Les enceintes de confinement des REB sont conçues de manière à permettre une confirmation quasi déterministe du rôle des mesures contre l'hydrogène.

Partie II

Condensation de la vapeur

II.1 Introduction

La condensation de la vapeur est une prescription primordiale dans le cas des accidents de dimensionnement. La production et la condensation de vapeur au cours d'un accident grave ne sont pas, du point de vue phénoménologique, différentes de celles observées au cours d'un accident de dimensionnement. Toutefois, les causes d'un accident grave peuvent aussi entraîner une défaillance des systèmes de condensation de la vapeur. Par exemple, si une pompe d'extraction de vapeur sert en même temps de pompe de refroidissement de secours du coeur (ce qui est habituel), cette pompe ne sera alors probablement pas disponible en cas d'accident grave. Il est difficile d'établir une distinction entre un système destiné aux accidents de dimensionnement et un système destiné aux accidents graves. Aux tableaux 3 et 4, les systèmes destinés aux accidents graves sont indiqués lorsqu'ils peuvent fonctionner de façon partiellement ou totalement indépendante des systèmes prévus pour les ADR.

II.2 Réacteurs à eau sous pression

II.2.1. Condensation de la vapeur dans les REP (ADR)

D'une façon générale, la réglementation n'exige pas explicitement de circuits d'aspersion de l'enceinte. Il est plutôt requis d'évacuer la chaleur de l'atmosphère de l'enceinte de confinement et pour ce faire, la plupart des REP utilisent des circuits d'aspersion. Des dérogations sont accordées pour les centrales équipées de ventilateurs de refroidissement classés de sûreté et pour certains REP, de conception allemande implantés en Allemagne, en Espagne et en Suisse. La mention "passif" ["passive"] portée dans le tableau 3 signifie qu'aucun circuit autre que le circuit de refroidissement de secours du coeur, associé à la capacité passive d'emmagasinage de la chaleur de l'enceinte de confinement, n'est nécessaire pour dépressuriser l'enceinte de confinement. En conséquence, aucun système actif de refroidissement de l'atmosphère de l'enceinte n'est requis.

Des dispositifs externes d'aspersion ne sont utilisés en cas d'ADR que dans certains anciens modèles de centrales (Espagne, Japon). Les ventilateurs de refroidissement classés de sûreté sont principalement utilisés en Belgique, aux États-Unis, en Italie, au Japon et en Suisse.

II.2.2. Condensation de la vapeur dans les REP (Accidents graves)

Seules la Finlande, la Suède et la Suisse semblent appliquer des prescriptions supplémentaires visant la condensation de la vapeur en cas d'accident grave. La Suède a

recours à d'autres pompes d'aspersion avec alimentation électrique et source d'eau externes. Ces autres circuits d'aspersion servent en même temps de systèmes de noyage de l'enceinte de confinement, car ils ne font qu'injecter de l'eau. La Finlande utilise une aspersion externe en cas d'accident grave. En Suisse, aucun dispositif d'aspersion de secours n'est installé sur les REP. Pour une centrale non dotée d'un circuit d'aspersion, le noyage de l'enceinte de confinement constitue une solution de rechange acceptable. Une autre centrale équipée de ventilateurs de refroidissement peut utiliser comme eau de refroidissement, l'eau destiné à la lutte contre l'incendie.

Des études sont en cours en Allemagne, aux États-Unis et aux Pays-Bas concernant le renforcement des systèmes de condensation dans des conditions d'accidents graves.

II.3 Réacteurs à eau bouillante

II.3.1. Condensation de la vapeur dans les REB (ADR)

La plupart des pays disposent, semble-t-il, de prescriptions visant l'évacuation de la chaleur à partir de l'atmosphère de l'enceinte de confinement. En conséquence, les centrales équipées de REB de type I et II sont, pour la plupart, dotées de circuits d'aspersion du volume d'expansion. Dans le cas des enceintes de confinement des REB de type III, en raison d'une configuration différente, des dispositifs d'aspersion sont installés dans les volumes de condensation au lieu des volumes d'expansion.

Les Pays-Bas (REB de type I) et la Suisse (REB de type I et III) font exception, car pour les accidents de dimensionnement, ces pays n'exigent pas de dispositifs d'aspersion. En conséquence, la mention "passif" ["passive"] (tableau 4) signifie qu'aucun système autre que le circuit de refroidissement de secours du cœur, n'est nécessaire pour réduire la pression et la température à l'intérieur de l'enceinte de confinement. Ni des dispositifs externes d'aspersion, ni des ventilateurs de refroidissement classés de sûreté ne sont utilisés dans un quelconque pays.

II.3.2. Condensation de la vapeur dans les REB (Accidents graves)

Seules la Finlande, la Suède et la Suisse appliquent des prescriptions réglementaires visant à renforcer l'évacuation de la chaleur de l'enceinte de confinement dans le cas des accidents graves. La Finlande, la Suède et la Suisse (REB de type I) ont installé un autre système d'aspersion et de noyage du volume d'expansion, doté d'une alimentation électrique et d'une source d'eau externes. Cette aspersion a pour effet de noyer en même temps l'enceinte de confinement. Dans le cas des REB de type III en Suisse, un circuit d'aspersion n'a pas été jugé utile, mais d'autres dispositifs de noyage du volume d'expansion ont été mis en place.

D'autres pays (Espagne, Italie et Pays-Bas) étudient des moyens de renforcer les

circuits d'aspersion.

Aucun pays n'envisage une aspersion externe ni une ventilation de refroidissement.

II.3.3. Conclusions relatives aux REB

La conception des enceintes de confinement des REB est spécifiquement orientée vers la condensation passive de la vapeur dans le bassin de suppression de pression. Néanmoins, les pays ont, en grande majorité, installé des circuits d'aspersion des volumes d'expansion. Il s'agit d'obtenir une réduction plus rapide de la température et de la pression à la suite d'un accident de dimensionnement. Quant aux accidents graves, seuls quelques pays ont mis en place d'autres circuits d'aspersion et de noyage dotés d'une source d'eau externe. Etant donné que le fonctionnement des circuits dotés d'une source d'eau externe a pour effet d'entraîner inévitablement le noyage de l'enceinte de confinement et donc une augmentation de pression, leur mise en place ne semble réalisable qu'en liaison avec un système d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement.

Légende des Tableaux 1 à 7

- PWR REP grande enceinte de confinement sous atmosphère sèche
- PWR REP I enceinte de confinement à condenseur à glace
- BWR I REB à enceinte de confinement Mark I ou analogue
- BWR II REB à enceinte de confinement Mark II ou analogue
- BWR III REB à enceinte de confinement Mark III ou analogue
- Yes Pour une prescription réglementaire : ces prescriptions peuvent être de caractère général (qualitatives) ou spécifique (quantitatives). L'absence de prescription ne signifie pas nécessairement que le pays considéré n'a pas envisagé la question.
- US A l'étude
- L'éventail est aussi large en l'occurrence. La mention "US" est portée dans les tableaux lorsque le pays semble envisager sérieusement cette démarche à l'égard de la gestion des accidents.
- L'absence de mention "US" peut être interprétée de plusieurs manières :
- Pas de réponse
 - Jamais envisagé
 - Envisagé mais écarté
- Yes La méthode n'est appliquée qu'à une fraction des centrales nucléaires.
- Yes Dans le cas des accidents graves : ne se justifie que lorsque le système est partiellement ou totalement indépendant du système prévu pour les accidents de dimensionnement.
- DBA (ADR) Accident de dimensionnement
- SA (AG) Accident grave allant d'un refroidissement du coeur dégradé à une fusion complète du coeur.

		R R e g u l a t o r y r e m e n t s	P r e - l i n e r t i n g	P o s t - l i n e r t i n g	I g n i t i o n c a t	S y s t e m s p a r k o r g l o w	R e c o m b i n e r s i n		M i x i n g S y s t e m s	A c c i d e n t T y p e
Belgium	PWR	Yes			US	US		Yes		DBA SA
Finland	PWR I	Yes Yes				Yes		Yes	Yes	DBA SA
France	PWR	Yes			US	US		Yes	Yes	DBA SA
Germany	PWR	Yes US			US	US	(Yes)	(Yes)	Yes	DBA SA
Italy	PWR	Yes Yes								DBA SA
Japan	PWR	US						US		DBA SA
	PWR I	US			US	US		Yes		DBA SA
Netherlands	PWR	Yes US	US	US	US	US		Yes	Yes	DBA SA
Spain	PWR	Yes US					(Yes)	(Yes)	(Yes)	DBA SA
Sweden	PWR	Yes			US	US		Yes		DBA SA
Switzerland	PWR	Yes Yes		US	US	US	Yes		(Yes)	DBA SA
United Kingdom	PWR	Yes					Yes			DBA SA
USA	PWR	Yes					(Yes)	(Yes)		DBA SA
	PWR I	Yes Yes				Yes	(Yes)	(Yes)		DBA SA

Tableau 1 : Contrôle de l'hydrogène dans les REP

		R e g u l a t o r y	R e q u i r e m e n t s	P r e - i n e r t i n g	P o s t - i n e r t i n g	I g n i t i o n	S y s t e m	R e c o m b i n e r s	M i x i n g	S y s t e m s	A c c i d e n t	T y p e
						cat	glow	In	out			
Finland	BWR II	Yes Yes	Yes Yes						Yes			DBA SA
Germany	BWR I, II	Yes Yes	Yes				(US)	(Yes)	(Yes)	Yes		DBA SA
Italy	BWR II	Yes Yes	Yes Yes						Yes			DBA SA
	BWR III	Yes Yes					Yes		Yes	Yes		DBA SA
Japan	BWR I, II	Yes Yes	Yes Yes					(Yes)	(Yes)			DBA SA
Netherlands	BWR I	Yes Yes	Yes Yes						Yes			DBA SA
Spain	BWR I	Yes Yes	Yes Yes									DBA SA
	BWR III	Yes Yes					Yes		Yes	Yes		DBA SA
Sweden	BWR II	Yes Yes	Yes Yes						Yes			DBA SA
Switzerland	BWR I	Yes Yes	Yes						Yes			DBA US
	BWR III	Yes Yes					Yes		Yes	Yes		DBA SA
USA	BWR I, II	Yes Yes	Yes Yes					(Yes)	(Yes)			DBA SA
	BWR III	Yes Yes					Yes	(Yes)	(Yes)	Yes		DBA SA

Tableau 2 : Contrôle de l'hydrogène dans les REB

		R e g u l a t o r y	R e q u i r e m e n t	I n t e r n a l	S e c o n d a r y	E x t e r n a l	S e c o n d a r y	V e n t i l a t i o n	P a s s i v e	A c c i d e n t	T y p e
Belgium	PWR	Yes		Yes				(Yes)			DBA SA
Finland	PWR	Yes Yes		Yes		Yes					DBA SA
France	PWR	Yes		Yes							DBA SA
Germany	PWR			(Yes)				US	Yes		DBA SA
Italy	PWR	Yes		Yes		(Yes)		(Yes)			DBA SA
Japan	PWR	Yes		(Yes)		(Yes)		(Yes)			DBA SA
Netherlands	PWR	Yes		Yes US							DBA SA
Spain	PWR	Yes		(Yes)		(Yes)		(Yes)	(Yes)		DBA SA
Sweden	PWR	Yes Yes		Yes Yes							DBA SA
Switzerland	PWR	Yes		(Yes) (US)				(Yes) (Yes)	(Yes)		DBA SA
United Kingdom	PWR			Yes				Yes			DBA SA
USA	PWR	Yes		(Yes) US				(Yes)			DBA SA

Tableau 3 : Condensation de la vapeur dans les REP

		R e g u l a r t o m e n t	R e q u i r e m e n t	I n t e r n a l	S p r a y	E x t r a n a l	S p r a y	V e n t i l a t i o n	P a s s i v e	A c c i d e n t	T y p e
Finland	BWR II	Yes Yes	Yes Yes								DBA SA
Germany	BWR I, II	Yes	Yes								DBA SA
Italy	BWR II	Yes	Yes US								DBA SA
	BWR III	Yes	Yes US Wetwell Spray								DBA SA
Japan	BWR I, II	Yes	Yes								DBA SA
Netherlands	BWR I		US						Yes		DBA SA
Spain	BWR I	Yes	Yes US								DBA SA
	BWR III	Yes	Yes Wetwell Spray								DBA SA
Sweden	BWR II	Yes Yes	Yes Yes								DBA SA
Switzerland	BWR I	Yes	Yes						Yes		DBA SA
	BWR III	Yes							Yes		DBA SA
USA	BWR I, II	Yes	Yes								DBA SA
	BWR III	Yes	Yes Wetwell Spray								DBA SA

Tableau 4 : Condensation de la vapeur dans les REB

Partie III

Éventage de l'enceinte de confinement

III.1 Introduction

Les enceintes de confinement des réacteurs à eau ordinaire occidentaux sont conçues pour retenir la vapeur et les gaz incondensables qui sont libérés au cours des accidents de dimensionnement. En conséquence, l'éventage ne peut s'appliquer qu'en liaison avec un accident grave, où la pression dans l'enceinte de confinement dépasse une limite spécifiée. La décision d'exiger des dispositifs d'éventage déroge à la règle de sûreté en abandonnant le "confinement" pour le "rejet". L'avantage offert par l'éventage de l'enceinte de confinement peut être apprécié à l'aide de l'évaluation probabiliste de la sûreté (EPS). De nombreux pays ont été ou sont réticents à imposer une prescription, qui n'est justifiée que par une EPS, car l'avantage offert par l'éventage de l'enceinte de confinement dépend non seulement du profil de risque de la centrale et du mode présumé de défaillance de l'enceinte de confinement, mais aussi du moment du rejet et de la chaîne de décision.

Les pays européens ont été les premiers à introduire l'éventage de l'enceinte de confinement, en s'appuyant sur des raisons différentes :

- limitation de la contamination du sol, exprimée en pourcentage du Cs rejeté ;
- compatibilité avec les plans d'urgence ;
- réduction des risques sans quantification des coûts et des avantages ;
- incertitude du mode de défaillance de l'enceinte de confinement ;
- prévention des fuites non contrôlées de l'enceinte de confinement.

Il semble que toutes ces raisons jouent un rôle dans les décisions des autorités réglementaires.

Le dimensionnement applicable à un système d'éventage peut être déduit d'une EPS propre à une centrale donnée. De nombreux pays ont retenu la "perte de réseau" (perte totale d'alimentation en courant alternatif) comme scénario couvrant la plupart des séquences accidentelles. Etant donné que c'est la chaleur de décroissance qui entraîne la montée de la pression dans l'enceinte de confinement, la capacité d'éventage peut être exprimée en pourcentage de la puissance du réacteur, habituellement compris entre 0,5 et 1%.

III.2. Éventage de l'enceinte de confinement des REP

Le Tableau 5 donne un aperçu de la situation dans le domaine de l'éventage de l'enceinte de confinement des REP. L'éventage de l'enceinte de confinement est exigé dans cinq pays sur douze dotés de REP. Un autre pays (la Finlande) réalise son objectif de sûreté, non pas au moyen de l'éventage, mais grâce au refroidissement par aspersion externe. Les objectifs de sûreté des différents pays sont les suivants :

- Deux pays limitent la contamination externe à 0,1% de la quantité de césium libérée (Finlande, Suède). La Finlande fixe aussi la limite à 100 TBq de Cs, selon celle de ces deux valeurs qui est la plus faible.
- Un pays fonde l'éventage de l'enceinte de confinement sur la planification des mesures d'urgence (France).
- Trois pays ne spécifient pas d'objectif en matière de sûreté, mais fixent des facteurs de filtration de 1000 pour les aérosols (Allemagne, Pays-Bas, Suisse). Ces facteurs de filtration sont considérés comme correspondant à l'"état des connaissances". La Suède spécifie une valeur de 1500, à partir de l'objectif de sûreté.
- En ce qui concerne l'iode élémentaire, quatre pays imposent des prescriptions visant les facteurs de rétention (10 en Allemagne, 100 aux Pays-Bas, en Suède et en Suisse).

Dans les six pays restants, l'éventage de l'enceinte de confinement est à l'étude.

III.3 Éventage de l'enceinte de confinement des REB

Le tableau 6 donne un aperçu de la situation dans le domaine de l'éventage de l'enceinte de confinement des REB. Lorsque l'éventage de l'enceinte de confinement a été adopté pour les REP, une possibilité d'éventage non filtré des enceintes de confinement existait déjà sans la plupart des centrales équipées de REB. D'une façon générale, ces possibilités n'étaient pas conçues à des fins de sûreté, mais elles étaient prises en considération dans les procédures d'urgence. Étant donné que les enceintes de confinement des REB sont en général d'un volume plus faible que celles des REP, la nécessité d'un éventage a été ressentie bien avant qu'il n'existe des études de risques. L'éventage est nécessaire en cas de surchauffe du bassin de suppression de pression, autrement dit pendant une perte de refroidissement du réacteur à l'arrêt ou un transitoire sans chute de barres.

Au tableau 6, ce type d'éventage sans filtration est mentionné entre parenthèses (), afin d'indiquer qu'il ne s'agit pas d'une prescription réglementaire. Étant donné que ce type d'éventage est déclenché avant une fusion du cœur (pour empêcher la défaillance de l'enceinte de confinement et partant une fusion du cœur), il est parfois qualifié d'"éventage propre". L'éventage-filtration répond aux objectifs de sûreté suivants :

- Cinq pays sur neuf dotés de REB ont des prescriptions réglementaires visant l'éventage-filtration. Un pays (Espagne) applique des prescriptions visant l'éventage non filtré.
- Deux pays limitent la contamination externe à 0,1% de la quantité de césium libérée (Finlande, Suède). La Finlande fixe aussi la limite à 100 TBq de Cs, selon celle de ces deux valeurs qui est la plus faible.

- Trois pays ne spécifient pas d'objectif en matière de sûreté, mais fixent à 1000 les facteurs de filtration pour les aérosols (Allemagne, Pays-Bas, Suisse). La Suède applique un facteur de filtration de 500, établi à partir de l'objectif de sûreté.
- En ce qui concerne l'iode élémentaire, l'Allemagne fixe à 10 le facteur de rétention, les Pays-Bas, la Suède et la Suisse imposant un facteur de 100.

L'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) s'accompagnant d'un contournement du bassin de suppression de pression, soulève un problème particulier dans le cas des REB. Dans une telle éventualité, apparaît un besoin immédiat d'éventage (non filtré) de l'enceinte de confinement. Deux pays seulement (la Finlande et la Suède) ont prévu des prescriptions en vue de faire face au contournement du bassin de suppression de pression (tableau 6 : Eventage si contournement du bassin). Le contournement est défini comme étant constitué par la rupture d'une canalisation de décharge vers le bassin de suppression de pression. Cela exige un éventage passif par l'intermédiaire d'un disque de rupture. Il convient de noter que la colonne "Disque de rupture" du tableau 6 se rapporte au système d'éventage filtré, qualifié d'"éventage passif".

III.4 Éventage passif

Un éventage filtré passif est prescrit dans trois pays (Finlande, Suède et Suisse) en plus de l'éventage manuel. On utilise pour ce faire un disque de rupture en parallèle avec des vannes d'éventage, qui sont actionnées manuellement. La raison d'être de l'éventage passif est la suivante :

- indépendance par rapport aux interventions des opérateurs
- protection contre une montée rapide en pression

Toutefois, même un disque de rupture ne peut pas empêcher une défaillance de l'enceinte de confinement dans tous les types de séquences accidentelles, car les pointes de pression résultant des explosions de vapeur ou des inflammations d'hydrogène peuvent être trop rapides.

III.5 Résumé

Dans six pays Membres sur douze l'éventage filtré de l'enceinte de confinement est prescrit et mis en oeuvre. Si un pays se prononce pour l'éventage-filtration, cela s'applique aussi bien aux REP qu'aux REB. Tous les systèmes d'éventage sont dotés de vannes pouvant être actionnées manuellement. Trois pays prescrivent en outre un disque de rupture pour un éventage filtré passif.

Dans la plupart des REB, il existait une possibilité d'éventage non filtré, dont il a été tenu compte dans les procédures d'urgence en vue de faire face à des accidents tels que des transitoires sans chute de barres. Un seul pays a une prescription réglementaire visant l'éventage non filtré.

Deux pays dotés de REB prévoient un grand disque de rupture supplémentaire pour les séquences d'APRP s'accompagnant d'un contournement du bassin de suppression de pression.

Les facteurs de filtration prescrits pour les aérosols sont compris entre 10 et 1500. Dans trois pays, ces facteurs sont déduits d'un objectif de sûreté qui limite le rejet de radioactivité. Quatre pays sur six prescrivent également une rétention de l'iode avec un facteur de filtration de 10 ou de 100.

		R e g u l a r e m e n t s	U n f i l t e r e d	F i l t e r e d	R u l e s	F i l t e r i n g F a c t o r	E x t e r n a l C o n t	A f f i c i a t o r F a c t o r	I n t e r n e r F a c t o r
Belgium	PWR	US		US					
Finland	PWR I	Yes					0.1 % Cs or 100 TBq	..	
France	PWR	Yes		Yes		Yes		10	
Germany	PWR	Yes		Yes		Yes		1000	10
Italy	PWR	US	US	US	US	US			
Japan	PWR	US	US	US					
Netherlands	PWR	Yes		Yes		Yes		1000	100
Spain	PWR	US							
Sweden	PWR	Yes		Yes	Yes		0.1 % Cs	1500	100
Switzerland	PWR	Yes		Yes	Yes	Yes		1000	100
United Kingdom	PWR	US	(Yes)	US					
USA	PWR	US							

Tableau 5 : Eeventage de l'enceinte de confinement des REP

		R e g u l a t o r y	U n f i l t e r e d	V e n t i l i n g B y p a s s	P o t e n t i a l r e l e a s e	F i l t e r e d	R u l e s	F i l t e r e d	E x p r e s s e d	A c t i v i t y	F i l t e r e d
Finland	BWR II	Yes	(Yes)	Yes	Yes	Yes			0.1 % Cs or 100 TBq		
Germany	BWR I, II	Yes			Yes		Yes			1000	10
Italy	BWR II, III	US	US	US	US	US	US				
Japan	BWR I, II	US	(Yes)		US						
Netherlands	BWR I	Yes	(Yes)		Yes		Yes			1000	100
Spain	BWR I, III	Yes	Yes								
Sweden	BWR II	Yes	(Yes)	Yes	Yes	Yes			0.1 % Cs	500	100
Switzerland	BWR I, III	Yes	(Yes)		Yes	Yes	Yes			1000	100
USA	BWR I, II, III	US	(Yes)								

Tableau 6 : Eventage de l'enceinte de confinement des REB

Partie IV

Questions diverses

IV.1 Introduction

Dans l'analyse qui suit ainsi qu'au tableau 7, aucune distinction n'a été établie entre la prescription et l'état actuel de sa mise en oeuvre. On est parti de l'hypothèse que toute prescription sera appliquée à plus ou moins long terme.

Les réponses des différents pays ont porté sur des aspects supplémentaires, qui n'étaient pas couverts dans le questionnaire primitif, s'agissant de l'instrumentation gamme de lecture des niveaux dans l'enceinte de confinement, les systèmes de filtration de l'air de la salle de commande, et la dépressurisation du circuit primaire de refroidissement afin d'empêcher la traversée par fusion de la cuve sous pression élevée. Comme ces aspects n'ont pas été abordés par tous les pays, il se peut que le tableau 7 soit incomplet.

IV.2 Noyage de l'enceinte de confinement

La plupart des réacteurs sont dotés d'une capacité de noyage de l'enceinte de confinement. Six pays l'imposent dans le cadre de la gestion du confinement en cas d'accident afin d'empêcher ou de retarder l'interaction coeur-béton. Dans le cas des REB, le noyage est considéré comme utile, voire nécessaire. Les REP ont habituellement une configuration dans laquelle le radier sous la cuve du réacteur est automatiquement noyé par les circuits de refroidissement de secours du coeur. Un noyage serait toutefois nécessaire pour empêcher l'assèchement du puisard de l'enceinte, en particulier si un éventage de l'enceinte de confinement est prévu.

IV.3 Mesures de prévention applicables aux ouvertures préexistantes

Tous les pays disposent de moyens permettant d'isoler l'enceinte de confinement et de tester périodiquement l'intégrité de cette dernière. Le tableau 7 indique les pays qui prescrivent des essais spéciaux ou des procédures particulières en vue de détecter les ouvertures préexistantes. Les autres pays ont analysé les systèmes d'isolement de l'enceinte et les ont jugés adéquats pour assurer un isolement fiable. Certains pays ont établi des moyens supplémentaires d'information sur la position des vannes d'isolement et des interventions manuelles afin de fermer ces vannes.

IV.4 Mesures spéciales visant à sauvegarder l'intégrité de l'enceinte de confinement

Six pays sur douze ont prévu des améliorations spéciales pour protéger les pénétrations dans l'enceinte de confinement, les portes d'accès ou le radier contre une

traversée précoce par fusion et un rejet par des voies de contournement. Dans le cas des enceintes de confinement de REB de type Mark I, la prévention du contact du corium avec l'enveloppe de l'enceinte a été étudiée, mais non réalisée. Un pays étudie des dispositifs de renforcement du sas matériel.

IV.5 Instrumentation spéciale

Tous les pays possédant des réacteurs en exploitation, disposent d'une instrumentation gamme large de lecture pour la pression et les rayonnements dans l'enceinte de confinement, ainsi qu'un moniteur à gamme large pour la cheminée. Dans la plupart des pays, ces instruments ont été mis en place conformément à des prescriptions adoptées à la suite de l'accident de TMI-2.

Trois pays au moins exigent ou ont fait installer des limnimètres à gamme large pour le noyage de l'enceinte.

Huit pays ont adopté des systèmes d'échantillonnage post accidentel adaptés aux conditions d'accidents graves.

IV.6 Systèmes de filtration de l'air de la salle de commande

Certains pays ont des prescriptions visant la filtration de l'air de la salle de commande en cas d'accident de dimensionnement. D'autres pays ont introduit la filtration de l'air ultérieurement en liaison avec les accidents graves. Comme le questionnaire n'abordait pas la question de la ventilation de la salle de commande, il se peut que le tableau 7 soit incomplet.

IV.7 Dépressurisation délibérée du circuit primaire de refroidissement

En ce qui concerne la dépressurisation, le tableau 7 donne une interprétation des prescriptions réglementaires, mais pas nécessairement de l'état de leur mise en oeuvre. La dépressurisation délibérée a pour finalité d'empêcher une traversée de la cuve sous haute pression, une séquence s'accompagnant de risques supérieurs de pointes de production de vapeur, le chauffage direct de l'enceinte de confinement, et des forces de réaction dans la cuve. Trois pays au moins exigent la prévention d'une traversée de la cuve sous haute pression.

D'autres pays exigent un dispositif de "soutirage et injection" ("bleed and feed") pour le circuit primaire de refroidissement, qui comporte aussi une dépressurisation du circuit du réacteur. Comme le questionnaire n'abordait pas la question de la dépressurisation, ni celle du soutirage et de l'injection, il se peut que le tableau 7 soit incomplet.

IV.8 Conclusions

Le noyage de l'enceinte de confinement est considéré comme utile dans la plupart des pays, du moins dans le cas des REB. Seuls quelques pays prévoient des procédures spéciales pour détecter les ouvertures préexistantes. Six pays au moins ont prévu ou appliqué des mesures spéciales pour prévenir la traversée précoce par fusion de l'enceinte de confinement, notamment pour les REB.

Une instrumentation à gamme large destinée à l'enceinte de confinement ainsi que pour les rejets de la cheminée est installée dans toutes les centrales, des systèmes d'échantillonnage post accidentel étant en place ou requis en cas d'accident grave dans la majorité d'entre elles.

Il se peut qu'une filtration de l'air de la salle de commande soit installée dans de nombreux pays voire dans tous, toutefois le questionnaire n'a pas abordé cet aspect.

La prescription d'une dépressurisation délibérée du circuit primaire de refroidissement n'existe que dans trois pays. Toutefois, la possibilité technique d'une telle dépressurisation existe sans doute dans tous les pays, parfois en liaison avec l'injection et le soutirage.

	CF	PO	TS	WCP	WCR	WCL	WSR	PAS	FVC	DRC
Belgium		Yes		Yes	Yes		Yes	Yes		
Finland	BWR	US	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	US
France	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes			
Germany	BWR		BWR	Yes	Yes		Yes		Yes	Yes
Italy	US	US		US	US	US	US	US		
Japan	US			Yes	Yes		Yes	Yes		
Netherland	Yes		BWR	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
Spain	US	Yes	BWR	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		
Sweden	Yes		BWR	Yes	Yes		Yes	Yes		
Switzerland	Yes			Yes	Yes	BWR	Yes	Yes	Yes	Yes
United Kingdom				Yes	Yes		Yes			
United States	US		US	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	

Tableau 7

Questions diverses

CF : noyage de l'enceinte de confinement

PO : ouvertures préexistantes

TS : boucliers thermiques pour empêcher la traversée par fusion de l'enceinte

WCP : pression dans l'enceinte, gamme large

WCR : rayonnement dans l'enceinte, gamme large

WCL : niveau dans l'enceinte, gamme large

WSR : rayonnement dans la cheminée, gamme large

PAS : échantillonnage post-accidentel

FVC : éventage-filtration de la salle de commande

DRC : dépressurisation du circuit primaire de refroidissement

1

2

OECD

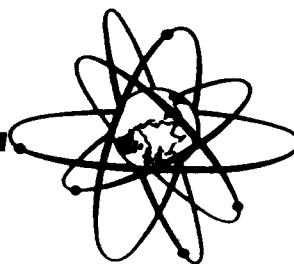
NEA

*CNRA Survey on Regulatory Approaches to
Accident Management of Containment*

Report on a survey on regulatory approaches to accident management of containment
prepared for the
Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA)

*Compiled by Dr. M. LEWIS & Mr. R. GILLI
of the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate
from responses to a CNRA questionnaire*

September 1992



COMMITTEE ON NUCLEAR REGULATORY ACTIVITIES (CNRA)
OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY
Le Seine Saint-Germain — 12, boulevard des Isles
92130 Issy-les-Moulineaux, France



O E C D

The Convention establishing the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) was signed on 14th December 1960.

Pursuant to article 1 of the Convention, the OECD shall promote policies designed:

- to achieve the highest sustainable economic growth and employment and a rising standard of living in Member countries, while maintaining financial stability, and this to contribute to the development of the world economy;
- to contribute to sound economic expansion in Member as well as non-member countries in the process of economic development; and
- to contribute to the expansion of world trade on a multilateral, non-discriminatory basis in accordance with international obligations.

The current Signatories of the Convention are Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Japan, Luxembourg, The Netherlands, New Zealand, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, the United Kingdom and the United States.

N E A

The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) now groups all the European Member countries of OECD and Australia, Canada, Japan and the United States. The Commission of the European Communities takes part in the work of the agency.

The primary objectives of NEA are to promote co-operation between its member governments on the safety and regulatory aspects of nuclear development, and on assessing the future role of nuclear energy as a contributor to economic progress.

NEA works in close collaboration with the International Atomic Energy Agency, with which it has concluded a Co-operation Agreement, as well as with other international organisations in the nuclear field.

C S N I

The NEA Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) is an international committee made up of scientists and engineers. It was set up in 1973 to develop and coordinate the activities of the OECD Nuclear Energy Agency concerning the technical aspects of the design, construction and operation of nuclear installations insofar as they affect the safety of such installations. The Committee's purpose is to foster international co-operation in nuclear safety amongst the OECD Member countries.

C N R A

The NEA Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA) constitutes an international forum for the exchange of information and experience among regulatory organisations. Set up in 1989, it is responsible for the programme of the OECD Nuclear Energy Agency concerning the regulation, licensing and inspection of nuclear installations with regard to safety.



PREFACE

The impetus for this report first arose from a Special Meeting of the Sub-Committee on Licensing of the Committee on the Safety of Nuclear Installations. That meeting, held on June 1988, considered reports prepared by the senior Group of Experts on Accident Management concerning "Filtered Containment Venting Systems" (which had recently been required by some member countries) and "The Role of Containment in Severe Accident Management".

As a result of the discussions at that meeting, it was decided that a survey should be carried out by the NEA to determine regulatory requirements and the status of their implementation in the Nuclear Power Plants (NPPs) of member countries. This survey was initiated in July 1988, but the resultant compilation of results was found to be incomplete, due in part to the mix of reactor types and accident scenarios covered by the questionnaire, and to the evolution of approaches then in progress. The Sub-Committee therefore decided to proceed with a second survey in order to complete the set of responses.

Meanwhile the Sub-Committee on Licensing was disbanded and the Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA) was established; the mandate of the latter includes the responsibilities of the former. This new committee first met in November 1989 and, as one of its first projects, it agreed to proceed with this survey. Because of the delay, it was necessary to call for updates of material then compiled.

Thanks to an offer by the Swiss delegate to the CNRA, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate undertook to analyse the updated material, and Dr. Mike Lewis initiated this work in 1990. Unfortunately Dr. Lewis was subsequently stricken with an illness which eventually led to his untimely death; the NEA is honored that this is one of the last projects to which he contributed. It is a tribute to the Swiss Inspectorate that Mr. Gilli, a colleague of Dr. Lewis, then took over the project and has brought it to its final form.

It would be redundant to repeat here the clearly worded conclusions to be found in the text at the end of each topic. However the following brief comments may be of interest to the reader:

- In many countries and in several areas, (in particular concerning filtered venting and hydrogen control), questions are still under study. As these studies proceed, there will be considerable benefit to be gained through international dialogue.
- The chapter concerned with miscellaneous topics shows the widest variation in approaches. As a project for the future, it will be useful to classify these topics and address them individually.
- While there appears to be a common understanding of the regulatory issues connected with containment safety, there are many approaches to addressing these issues; by signalling the differences in approaches, this report gives regulators an opportunity to rationalize them and to consider if any changes are needed.

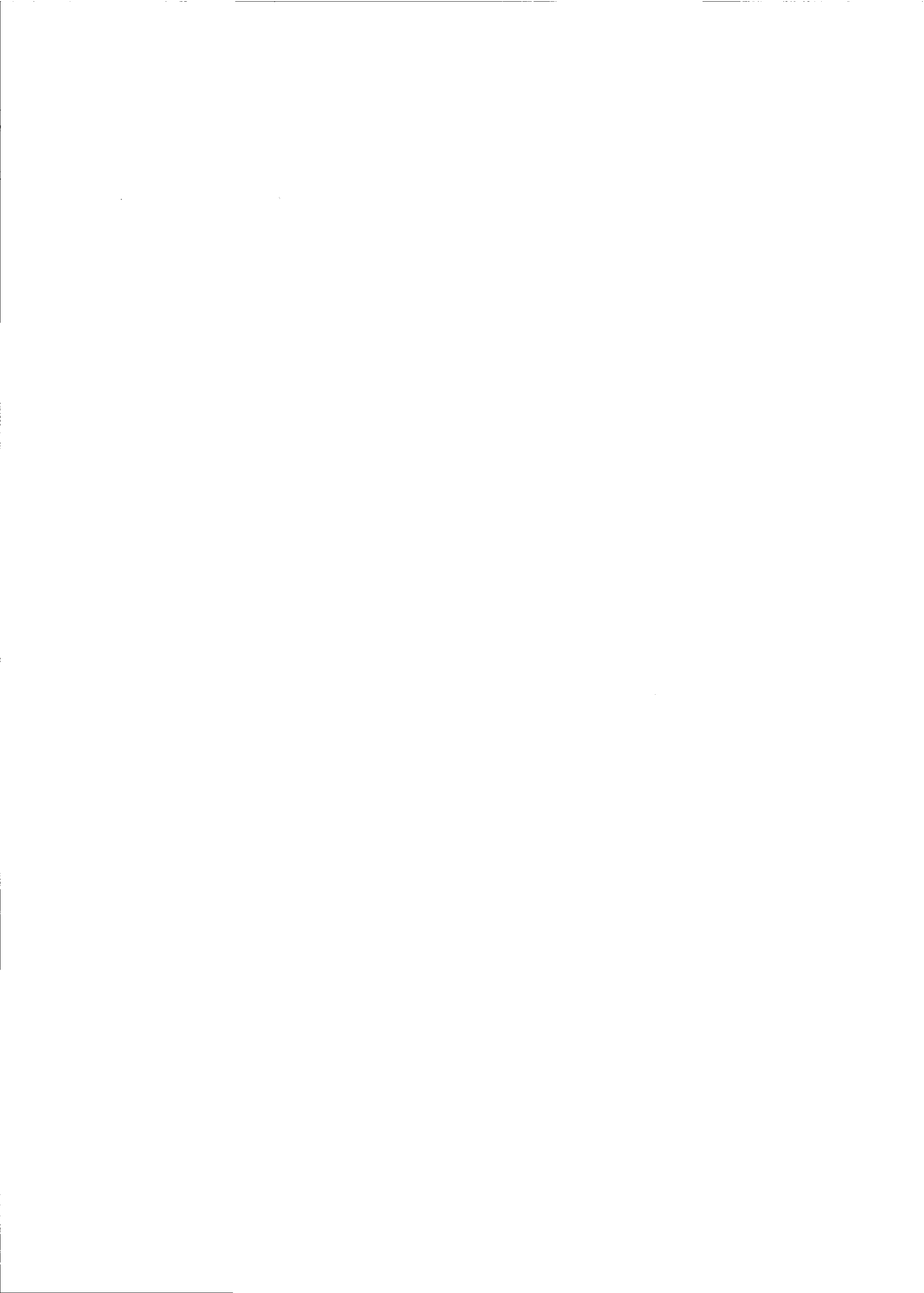


TABLE OF CONTENTS

<i>Subject</i>	<i>Page</i>
I. <i>Hydrogen Control</i>	
I.1 Introduction	1
I.2 Pressurized Water Reactor	1
1. Hydrogen Control in PWR's (DBA)	1
2. Hydrogen Control in PWR's (Severe Accidents)	2
2.2.1 Regulatory Requirements	2
2.2.2 Pre-Inerting	2
2.2.3 Post-Inerting	2
2.2.4 Ignition System	3
2.2.5 Conclusions for PWR's	3
I.3 Boiling Water Reactors	3
1. Hydrogen Control in BWR's (DBA)	3
2. Hydrogen Control in BWR's (Severe Accidents)	4
3. Conclusions for BWR's	4
II. <i>Steam Condensation</i>	
II.1 Introduction	5
II.2 Pressurized Water Reactors	5
1. Steam Condensation in PWR's (DBA)	5
2. Steam Condensation in PWR's (Severe Accidents)	5
II.3 Boiling Water Reactors	6
1. Steam Condensation in BWR's (DBA)	6
2. Steam Condensation in BWR's (Severe Accidents)	6
3. Conclusions for BWR's	6
Tables 1 to 4	7-11



III. *Containment Venting*

III.1 Introduction 12

 2. Containment Venting in PWR's 12

 3. Containment Venting in BWR's 13

 4. Passive Venting 14

 5. Summary 14

Tables 5-6 15-16

IV *Miscellaneous Subjects*

IV.1 Introduction 17

 2. Flooding of Containment 17

 3. Prevention of Pre-existing Openings 17

 4. Special Measures to Protect Containment Integrity 17

 5. Special Instrumentation 18

 6. Control Room Air Filter Systems 18

 7. Deliberate Depressurization of Reactor Coolant System 18

 8. Conclusions 18

Table 7 20



CNRA Survey on Regulatory Approaches to Accident Management of Containment

Part I

Hydrogen Control

I.1 Introduction

Accident Management is a term used in connection with a severe accident, which means an accident beyond the design basis. Regulatory requirements may exist for both design basis accidents (DBA) and severe accidents (SA); therefore it is necessary to discuss them separately. Since some answers from member countries did not make a clear distinction between those different requirements, the tables show the interpretation of the author.

I.2 Pressurized Water Reactors

I.2.1 Hydrogen Control in PWR's (DBA)

The large majority of PWR's have "large dry" containments. This means that the containment is designed for the short-term pressure buildup from the limiting design basis accident (loss of coolant accident = LOCA), without reliance of a pressure suppression pool. Therefore, containment volumes are large, and the design pressure is between 2.5 and 5 bar (overpressure).

For DBA's, hydrogen release resulting from zirconium-water reaction is far too small to reach the flammability limit for hydrogen/air mixtures. On the other hand, radiolysis of water can produce sufficient hydrogen in the long term. Therefore, PWR-containments are also confronted (in the long term) with burnable hydrogen concentrations. Table 1 gives an overview to hydrogen control for PWR's.

Most countries have regulatory requirements to prevent burnable hydrogen concentrations after DBA's. Before TMI, reliance on containment purging was in most countries an accepted means. After TMI, sensitivity to a possible hydrogen problem increased. A core heat-up higher than calculated for design basis accidents can produce much more hydrogen, and flammability limits in the containment may be reached earlier than calculated for DBA's. Since hydrogen production and fission product release go in parallel, containment purging was no longer considered as an acceptable means to mitigate hydrogen. Recombiners, internal or external to the containments, are capable of reducing hydrogen concentration to below the flammability limit. This is the generally accepted means for hydrogen control.

Recombiners usually rely on thermal (not catalytic) recombination. The flow rate, compared with the containment volume, is rather low but sufficient to cope with hydrogen production due to radiolysis. Recombiners can cover some beyond DBA-situations, but not a core melt accident. Their operating range is usually limited to about 5 % hydrogen concentration. External recombiners, if shared between multiple plants, need an installation time which currently is not consistent with the time sequence of a core melt accident.

For ice-condenser containments (PWR I), containment volumes and design pressures are smaller than for the "large dry" types. Therefore the hydrogen problem is more serious. However, with ice-condenser containments recombiners are also sufficient for DBA's.

I.2.2 Hydrogen Control in PWR's (Severe Accidents)

The hydrogen risk during a severe accident depends on the containment design and the type of accident sequence. Even if the risks are comparable, one country may accept the risk, other countries may not. This is the reason why no world-wide consensus exists. It seems that at least two groups of countries can be identified: One group which sees no immediate need to manage the hydrogen problem, and another group which requires and expects a short-term solution (see table 1).

I.2.2.1 Regulatory Requirements

A typical regulatory requirement would be that the hydrogen control shall be based on a hydrogen production according to 50 - 100 % zirconium-water reaction. Italy, Switzerland and USA (only for ice-condenser) have such a requirement, and Germany, Netherlands and Spain are considering such a requirement. Finland requires the assumption of severe core damage.

I.2.2.2 Pre-Inerting

Pre-inerting a PWR-containment would strongly influence the operability of the plant. Therefore, no country except Netherlands is studying this solution.

I.2.2.3 Post-Inerting

Post-inerting has been studied on the basis of using N₂, CO₂ or Halon. Most countries have excluded this solution, although Netherlands and Switzerland have not definitively rejected it. Post-inerting has the disadvantage of increasing containment pressure. The use of Halon, which would result in the least pressure increase, is controversial because of its chemical properties. Therefore, CO₂-inerting is preferred. Experience with conventional CO₂ fire-suppression systems can be considered.



I.2.2.4 Ignition System

Ignition systems are installed in ice-condenser containments (Finland, USA), which are comparable to BWR III-containments because the location of hydrogen release is identifiable, and therefore burning with standing flames is possible.

For large dry PWR-containments, ignition systems are not a straight-forward solution. Different compartments in the containment, and different accident sequences do not allow a deterministic judgement about the usefulness of igniter systems. However, Germany, Netherlands and Switzerland expect the solution of this problem will rest with igniters. These countries have steel containments and probably are more concerned with hydrogen than countries with concrete containments. Since PWR-containments have compartments, and every compartment needs hydrogen control, the number of igniters may be large. Therefore, catalytic igniters (without the need of electric power) or battery powered spark igniters are preferred. Germany is also studying the use of passive catalytic recombiners to recombine H_2 at concentrations below flammability limits.

I.2.2.5 Conclusions for PWR's

For DBA's, hydrogen control with recombiners is a generally accepted solution. For severe accidents, hydrogen control is still under study. Regulatory requirements are different and include the following examples:

- no requirement
- requirement for "degraded core cooling"
- requirement for core melt sequences

The most promising means of hydrogen control during severe accidents is igniter systems. Up to now, only ice-condensor containments are equipped with igniters. For large dry PWR-containments, a deterministic confirmation about the feasibility of igniters, for all compartments and for all accident sequences, is difficult. Post-inerting is feasible, but no country has yet taken a decision on this.

I.3 Boiling Water Reactors

I.3.1 Hydrogen Control in BWR's (DBA)

All BWR's discussed here have Pressure Suppression Containments. This means that steam is condensed in a water pool and therefore the containment volume is lower than for large dry PWR's. Therefore, hydrogen control is more important for BWR's. Table 2 gives an overview to hydrogen control for BWR's.



Some countries, e.g. USA, originally prescribed a certain percentage of zirconium-water reaction which has to be assumed for a DBA. With this assumption, many of the small containments (BWR I, BWR II) were near the flammability limit. Therefore, pre-inerting with Nitrogen was prescribed in all countries, excluding Germany and Switzerland.

Even in inerted containments, radiolysis of water can produce burnable mixtures of hydrogen and oxygen in the long-term. After the TMI accident, purging or other means were no longer accepted for hydrogen control and therefore recombiners were necessary to control hydrogen. Because of space problems most BWR-recombiners are situated outside containment.

Mark III-containments (BWR III) have larger volumes (comparable to ice-condensor PWR-containments). Here, recombiners are sufficient to cope with the long-term radiolysis. For the short-term, a mixing system between drywell and wetwell is necessary to dilute the hydrogen in the drywell and eventually to equalize the hydrogen concentrations.

I.3.2 Hydrogen Control in BWR's (Severe Accidents)

All countries with BWR's have regulatory requirements to provide measures for accidents beyond the design basis. USA specified a "degraded core cooling" accident with 75 % zirconium-water-reaction, other countries specify 100 % or just assume a core melt accident. For inerted containments (BWR I, II) no additional measures were necessary. For uninerted containments (Germany, Switzerland), inerting is now required. The German BWR II has only wetwell inerting.

BWR III-containments are larger and contain equipment which requires access by plant personnel. For this reason, pre-inerting is not possible and igniters (electric glow plugs) have been installed. Electric power supply for the igniters is an item of discussion (diesel-backed or battery-backed AC power).

For BWR I and II solutions other than pre-inerting like post-inerting or ignition systems have been studied by some countries. No country has accepted a final solution other than pre-inerting. Only Germany is studying a combination of ignition and inerting for BWR II so as to allow access of personnel to the drywell.

I.3.3 Conclusions for BWR's

BWR-containments are, because of their size, more vulnerable to hydrogen production. Nevertheless, measures are internationally uniform and suitable both for DBA's (recombiners) and for severe accidents (pre-inerting for BWR I, II and ignition systems for BWR III). Only the German BWR II has an uninerted drywell. The containment design of BWR's allows an almost deterministic confirmation of the function of the measures against hydrogen.

Part II

Steam Condensation

II.1 Introduction

Steam Condensation is a primary requirement for Design Basis Accidents. Steam production and condensation during a severe accident is not phenomenologically different to that in a DBA. However, the causes of a severe accident may also fail the steam condensing systems. For example, if a steam condensing pump is at the same time an emergency core cooling pump (which is usual), then this pump is most probably not available in a severe accident. It is difficult to differentiate between a DBA-system and a SA-system. In tables 3 and 4, SA-systems are indicated if the system can operate partially or totally independently from the systems foreseen for DBA's.

II.2 Pressurized Water Reactors

II.2.1 Steam Condensation in PWR's (DBA)

The general regulatory position does not explicitly require containment spray systems. Rather, heat removal from the containment atmosphere is required, and for this most of the PWR's use spray systems. Exemptions are allowed for plants with safety-grade ventilation-coolers and for certain PWR's of German design located in Germany, Spain and Switzerland. The item "passive" in table 3 means, that no system other than the ECCS, in combination with the passive heat storage capacity of the containment, is necessary to depressurize the containment. Therefore, no active containment atmosphere cooling system is required.

External sprays are used for DBA's only in some old plant designs (Japan, Spain). Safety-grade ventilation coolers are partially used in Belgium, Italy, Japan, Switzerland and USA.

II.2.2 Steam Condensation in PWR's (Severe Accidents)

Only Finland, Sweden and Switzerland seem to have additional requirements for steam condensation in case of a severe accident. Sweden has alternative spray pumps, with external power and water source. These alternative spray systems are at the same time containment flood systems because they only inject water. Finland uses external spray for severe accidents. In Switzerland no backup sprays for PWR's are installed. For one plant without a spray system, containment flooding is an acceptable alternative. Another plant, with ventilation coolers, can use fire fighting water as cooling water.

Studies for enhanced condensation systems for severe accident conditions are under way in Germany, Netherlands and USA.



II.3 Boiling Water Reactors

II.3.1 Steam Condensation in BWR's (DBA)

Most countries seem to have requirements to remove heat from the containment atmosphere. Therefore, most plants of BWR I, II type are equipped with drywell spray systems. For BWR III-containments, because of a different configuration, wetwell spray is installed instead of drywell spray.

Netherlands (BWR I) and Switzerland (BWR I, III) are exceptions because for DBA's sprays are not required. Therefore, the item "passive" (table 4) means that no system other than the ECCS is necessary to reduce pressure and temperature within the containment. Neither external sprays nor safety grade ventilation coolers are used in any country.

II.3.2 Steam Condensation in BWR's (Severe Accidents)

Only Finland, Sweden and Switzerland have regulatory requirements to enhance containment heat removal for severe accidents. Finland, Sweden and Switzerland (BWR I) have installed an alternate drywell spray and flood system with external power and water source. This spray simultaneously floods the containment. For the BWR III in Switzerland, a spray system was not considered useful, but alternate drywell flood provisions have been installed.

Other countries (Italy, Netherlands and Spain) are studying enhancements of spray systems.

No country is studying external spray or ventilation cooling.

II.3.3 Conclusions for BWR's

The design of BWR-containments is specifically oriented to passive steam condensation in the suppression pool. Nevertheless the great majority of countries have installed drywell spray systems. The reason is to effect a faster temperature and pressure reduction after a DBA. For severe accidents, only a few countries have installed alternate spray and flood systems with external water source. Since systems with external water source inevitably flood the containment and therefore increase pressure, their installation seems only feasible in connection with a containment filtered venting system.



How to read the tables 1 to 7

PWR large dry containment

PWR I ice condenser containment

BWR I Mark I or similar containment

BWR II Mark II or similar containment

BWR III Mark III or similar containment

Yes for regulatory requirement: These requirements can be general (qualitative) or specific (quantitative). A missing requirement does not necessarily mean, that the country has not considered this issue.

US Under Study:

The spectrum here is also large. US is listed in the tables when the country seems to seriously consider this approach to accident management.

Missing US: This can be interpreted in many ways

- No answer
- Never considered
- Considered but rejected

(Yes) this approach is realized for only a portion of the NPPs.

Yes for severe accidents: Is only justified when the system is partially or totally independent from the system foreseen for design basis accidents

DBA Design Basis Accident

SA Severe Accident, ranging from degraded core cooling to a full core melt



		R R e g u l a r e m e n t s	P r e - l i n e r t i n g	P o s t - l i n e r t i n g	I g n i t i o n c a t	S y s t e m s p a r k o r g l o w	R e c o m b i n e r s i n		M i x i n g S y s t e m s	A c c i d e n t T y p e
								o u t		
Belgium	PWR	Yes			US	US		Yes		DBA SA
Finland	PWR I	Yes Yes				Yes		Yes	Yes	DBA SA
France	PWR	Yes			US	US		Yes	Yes	DBA SA
Germany	PWR	Yes US			US	US	(Yes)	(Yes)	Yes	DBA SA
Italy	PWR	Yes Yes								DBA SA
Japan	PWR	US						US		DBA SA
	PWR I	US			US	US		Yes		DBA SA
Netherlands	PWR	Yes US	US	US	US	US		Yes	Yes	DBA SA
Spain	PWR	Yes US					(Yes)	(Yes)	(Yes)	DBA SA
Sweden	PWR	Yes			US	US		Yes		DBA SA
Switzerland	PWR	Yes Yes		US	US	US	Yes		(Yes)	DBA SA
United Kingdom	PWR	Yes					Yes			DBA SA
USA	PWR	Yes					(Yes)	(Yes)		DBA SA
	PWR I	Yes Yes				Yes	(Yes)	(Yes)		DBA SA

Table 1: Hydrogen Control, PWR's



		R R e g u l a t o r y e n t s	P r e - i n e r t i n g	P o s t - i n e r t i n g	I g n i t i o n	S y s t e m	R e c o m b i n e r s	M i x i n g	S y s t e m s	A c c i d e n t	T y p e
					cat	glow	in	out			
Finland	BWR II	Yes Yes	Yes Yes					Yes			DBA SA
Germany	BWR I, II	Yes Yes	Yes			(US)	(Yes)	(Yes)	Yes		DBA SA
Italy	BWR II	Yes Yes	Yes Yes					Yes			DBA SA
	BWR III	Yes Yes				Yes		Yes	Yes		DBA SA
Japan	BWR I, II	Yes Yes	Yes Yes				(Yes)	(Yes)			DBA SA
Netherlands	BWR I	Yes Yes	Yes Yes					Yes			DBA SA
Spain	BWR I	Yes Yes	Yes Yes								DBA SA
	BWR III	Yes Yes				Yes		Yes	Yes		DBA SA
Sweden	BWR II	Yes Yes	Yes Yes					Yes			DBA SA
Switzerland	BWR I	Yes Yes	Yes					Yes			DBA US
	BWR III	Yes Yes				Yes		Yes	Yes		DBA SA
USA	BWR I, II	Yes Yes	Yes Yes				(Yes)	(Yes)			DBA SA
	BWR III	Yes Yes				Yes	(Yes)	(Yes)	Yes		DBA SA

Table 2: Hydrogen Control, BWR's



		R e g u l a t o r y	R e q u i r e m e n t	I n t e r n a l	S t r a t e g y	E x t r a n a l	V e n t i l i z a t i o n	P a s s i v e	A c c i d e n t	T y p e
Belgium	PWR	Yes		Yes			(Yes)			DBA SA
Finland	PWR	Yes Yes		Yes		Yes				DBA SA
France	PWR	Yes		Yes						DBA SA
Germany	PWR			(Yes)			US	Yes		DBA SA
Italy	PWR	Yes		Yes		(Yes)	(Yes)			DBA SA
Japan	PWR	Yes		(Yes)		(Yes)	(Yes)			DBA SA
Netherlands	PWR	Yes		Yes US						DBA SA
Spain	PWR	Yes		(Yes)		(Yes)	(Yes)	(Yes)		DBA SA
Sweden	PWR	Yes Yes		Yes Yes						DBA SA
Switzerland	PWR	Yes		(Yes) (US)			(Yes) (Yes)	(Yes)		DBA SA
United Kingdom	PWR			Yes			Yes			DBA SA
USA	PWR	Yes		(Yes) US			(Yes)			DBA SA

Table 3: Condensation of Steam, PWR's



		R e g u l a r t o r y e n t	R e q u i r e m e n t	I n t e r n a l	S p r a y	E x t e r n a l	S p r a y	V e n t i l a t i o n	P a s s i v e	A c c i d e n t	T y p e
Finland	BWR II	Yes	Yes	Yes	Yes						DBA SA
Germany	BWR I, II	Yes	Yes	Yes							DBA SA
Italy	BWR II	Yes	Yes	US							DBA SA
	BWR III	Yes	Yes	US Wetwell Spray							DBA SA
Japan	BWR I, II	Yes	Yes	Yes							DBA SA
Netherlands	BWR I			US					Yes		DBA SA
Spain	BWR I	Yes	Yes	US							DBA SA
	BWR III	Yes	Yes	Wetwell Spray							DBA SA
Sweden	BWR II	Yes	Yes	Yes	Yes						DBA SA
Switzerland	BWR I	Yes	Yes	Yes					Yes		DBA SA
	BWR III	Yes							Yes		DBA SA
USA	BWR I, II	Yes	Yes	Yes							DBA SA
	BWR III	Yes	Yes	Wetwell Spray							DBA SA

Table 4: Condensation of Steam, BWR's

Part III

Containment Venting

III.1 Introduction

Containments of western Light Water Reactors are designed to retain any steam and noncondensable gases which are released during design basis accidents. Therefore, Containment venting is only relevant in connection with a severe accident, where the containment pressure exceeds a specified limit. The decision to require venting systems is a break in the existing safety philosophy from "contain" to "release". The benefit of containment venting can be evaluated with a probabilistic safety analysis (PSA). Many countries were or are reluctant to impose a requirement which is only justified by a PSA because the benefit of containment venting depends not only on the risk profile of the plant and the assumed failure mode of the containment, but also on the timing of the release and the decision chain.

European countries were the first to introduce containment venting, based on different reasons:

- restriction of land contamination, expressed in percentage of Cs released
- compatibility with emergency planning
- risk reduction without quantification of cost and benefit
- uncertainty of containment failure mode
- prevention of uncontrolled containment leakage.

It seems that all reasons play a role in the decisions of regulatory authorities.

The design basis for a venting system can be derived from a plant specific PSA. Many countries identified a "station blackout" (loss of all AC power) as a scenario which covers most of the accident sequences. Since the driving force for a rising containment pressure is decay heat, the venting capacity can be expressed in percentage of reactor power, usually between 0,5 % and 1 %.

III.2 Containment Venting in PWR's

Table 5 gives an overview to the state of containment venting for PWR's. Containment venting is required in 5 of 12 countries with PWR's. One other country (Finland) fulfils its safety

goal not with venting, but with external spray cooling. The safety goals of the different countries are:

- 2 countries limit the external contamination to 0,1 % Cesium release (Finland, Sweden). Finland specifies alternatively 100 TBq Cs, whichever is smaller



- 1 country has emergency planning as the basis for containment venting (France)
- 3 countries do not specify a safety goal, but specify filter factors of 1000 for aerosols (Germany, Netherlands, Switzerland). These filter factors are considered as "state of the art". Sweden specifies 1500, derived from the safety goal.
- Concerning elementary iodine, 4 countries have requirements for retention factors (Germany 10, Netherlands, Switzerland and Sweden 100).

For the remaining 6 countries, containment venting is under study.

III.3 Containment Venting in BWR's

Table 6 gives an overview to the state of containment venting for BWR's. When containment venting was introduced for PWRs an unfiltered containment venting capability already existed in most BWR plants. Generally, these capabilities were not designed for safety purposes, but they were considered in the emergency procedures. Since BWR-containments generally have smaller volumes than PWR-containments, the need for venting was realized well before risk studies existed. Venting is needed if the suppression pool is overheated; i.e. during a loss of decay heat removal or an ATWS.

In Table 6 this type of unfiltered venting is listed in parentheses () to indicate that this is not a regulatory requirement. Because this type of venting is initiated before a core melt (to prevent containment failure and consequently a core melt), it is sometimes called "clean venting".
Filtered venting safety goals:

- 5 of 9 countries with BWR's have regulatory requirements for filtered venting. One country (Spain) has requirements for unfiltered venting.
- 2 countries limit the external contamination to 0,1 % Cesium release (Finland, Sweden). Finland specifies alternatively 100 TBq Cs, whichever is smaller.
- 3 countries do not specify a safety goal, but specify filter factors of 1000 for aerosols (Germany, Netherlands, Switzerland). The filter factor 500 from Sweden is derived from the safety goal.
- For elementary iodine, Germany specifies a retention factor of 10, while Netherlands, Sweden and Switzerland require 100.

A special issue for BWR's is a "Loss of Coolant Accident" (LOCA) with suppression pool bypass. Should this occur, an immediate need for (unfiltered) containment venting arises. Only 2 countries (Finland, Sweden) have requirements to cope with pool bypass (Table 6: Venting Pool Bypass). The bypass is defined by the break of a blow-down pipe to the suppression pool.



This requires passive venting via a rupture disc. Note that the column "Rupture Disc" in Table 6 refers to the filtered venting system, described as "passive venting".

III.4 Passive Venting

Passive filtered venting is prescribed in 3 countries (Finland, Sweden, Switzerland) in addition to the manual venting. This is done with a rupture disc in parallel with venting valves which are activated manually. The rationale for a passive venting is:

- Independence from operator actions
- protection against a fast pressure rise

However even a rupture disc cannot prevent containment failure in all types of accident sequences, for pressure spikes resulting from steam explosions or hydrogen burns may be too fast.

III.5 Summary

In 6 of the 12 member countries filtered containment venting is prescribed and is in realization. If a country decides for filtered venting, then both PWR's and BWR's are affected. All venting systems have valves for manual activation. 3 countries have an additional rupture disc for passive filtered venting.

In most BWR's a capability for unfiltered venting was existing and taken into account in the emergency procedures to cope with accidents like ATWS. Only one country has a regulatory requirement for unfiltered venting.

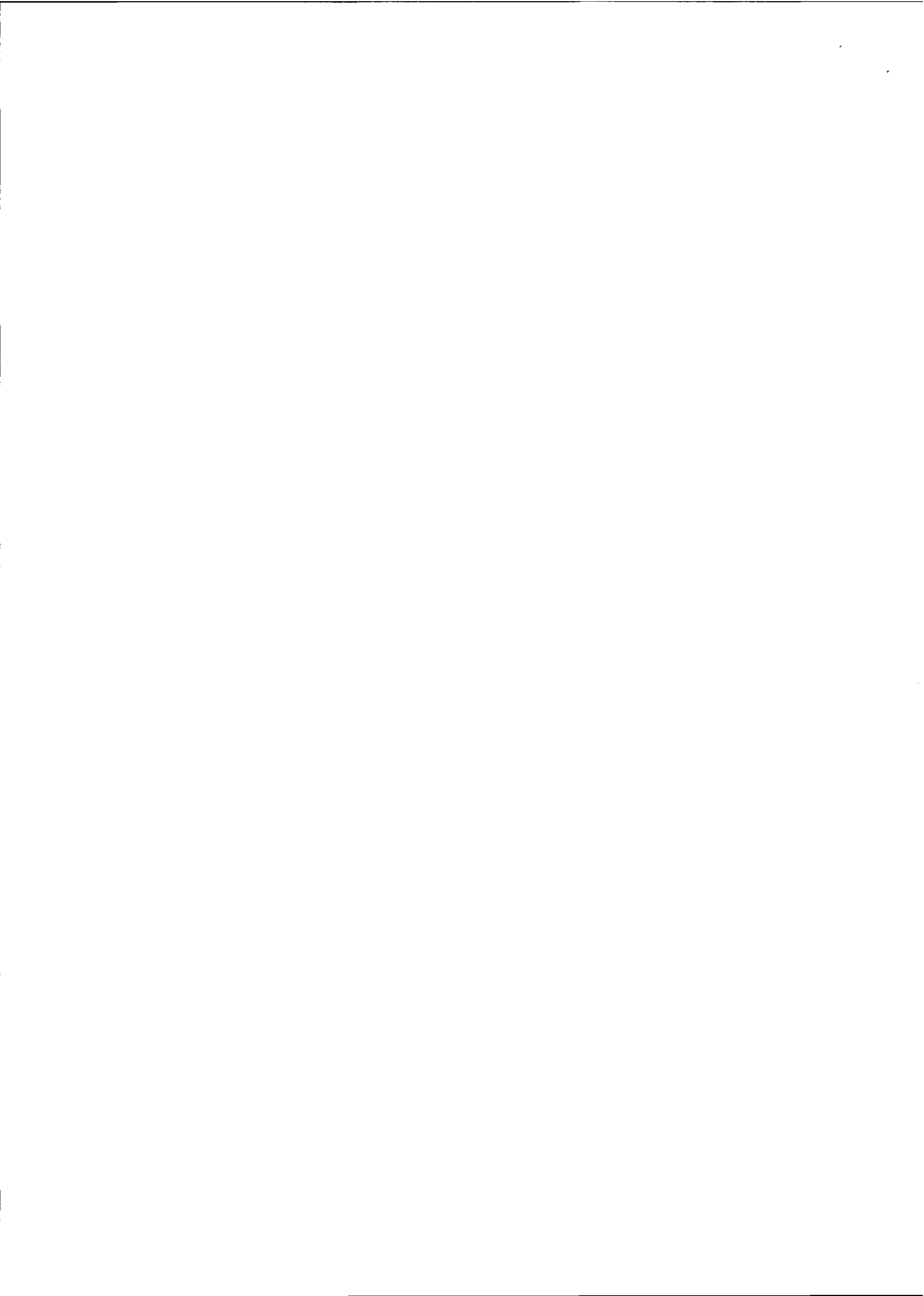
Two countries with BWR's have an additional large rupture disc for LOCA sequences with suppression pool bypass.

Prescribed filter factors for aerosols vary from 10 to 1500. In 3 countries these factors are derived from a safety goal which limits the release of radioactivity. 4 of the 6 countries also specify retention of iodine with a filter factor of 10 or 100.



		R e g u l a t o r y r e q u i r e m e n t s	U n f i l t e r e d	V e n t i l i n g	F i l t e r e d	R e l e a s e	F i l t e r i n g	P r e s c r i b e d	E x t e r n a l c o n t	A c t i v i t y f a c t o r	I n d i c a t o r
Belgium	PWR	US			US						
Finland	PWR	Yes							0.1 % Cs or 100 TBq		
France	PWR	Yes			Yes		Yes		10		
Germany	PWR	Yes			Yes		Yes		1000	10	
Italy	PWR	US	US		US	US	US				
Japan	PWR	US	US		US						
Netherlands	PWR	Yes			Yes		Yes		1000	100	
Spain	PWR	US									
Sweden	PWR	Yes			Yes	Yes			0.1 % Cs	1500	100
Switzerland	PWR	Yes			Yes	Yes	Yes		1000	100	
United Kingdom	PWR	US	(Yes)		US						
USA	PWR	US									

Table 5: Containment Venting, PWR's



		R R e q u i l i t a r e m . y e n t s	U V n f i l t e r i n g	V P e n t i l i n g B y p a s s	F V i l t e r i n g	R D u p t c r e	F P i l t e r i c r i f f a c t o r	E P x r e s c r i b e d C o n t	A F e l t e r i f a c t o r	I F o d i t e r F a c t o r
Finland	BWR II	Yes	(Yes)	Yes	Yes	Yes		0.1 % Cs or 100 TBq		
Germany	BWR I, II	Yes			Yes		Yes		1000	10
Italy	BWR II, III	US	US	US	US	US	US			
Japan	BWR I, II	US	(Yes)		US					
Netherlands	BWR I	Yes	(Yes)		Yes		Yes		1000	100
Spain	BWR I, III	Yes	Yes							
Sweden	BWR II	Yes	(Yes)	Yes	Yes	Yes		0.1 % Cs	500	100
Switzerland	BWR I, III	Yes	(Yes)		Yes	Yes	Yes		1000	100
USA	BWR I, II, III	US	(Yes)							

Table 6: Containment Venting, BWR's

Part IV

Miscellaneous Subjects

IV.1 Introduction

In the following discussion and in table 7, no distinction between requirement and current status of implementation has been made. This is based on the assumption that any requirement will be met in the short term or long term.

Answers of the different countries addressed additional items, which were not included in the original questionnaire, i. e. wide range containment level instrumentation, control room air filter systems, and depressurization of the reactor coolant system to prevent high pressure vessel melt-through. Since not all countries addressed these issues, table 7 may be incomplete.

IV.2 Flooding of containment

Most reactors have a capability of flooding the containment. 6 countries require it as part of accident management of the containment to prevent or delay core-concrete interaction. For BWR's flooding is considered useful or necessary. PWR's have usually a configuration where the basement below the reactor vessel is automatically flooded by the ECCS systems. Flooding would however be necessary to prevent dry-out of the containment sump, especially if containment venting is foreseen.

IV.3 Prevention of pre-existing Openings

All countries have means to isolate the containment and to test periodically containment integrity. Table IV indicates those countries which have special tests or special procedures to detect pre-existing openings. The other countries have reviewed the containment isolation systems and found them adequate for a reliable isolation. Some countries have prepared additional means of information about the position of isolation valves, and manual intervention to close isolation valves.

IV.4 Special Measures to Protect Containment Integrity

6 of the 12 countries have made special improvements to protect containment penetrations, access doors or the basemat from early melt-through and release through bypass paths. For Mark I BWR containments prevention of corium contact with the containment shell has been under study, but not realized. One country has reinforcements of the equipment hatch under study.



IV.5 Special Instrumentation

All countries with operating reactors have wide range containment pressure and radiation instrumentation, and a wide range stack monitor. In most countries these instruments were installed as post-TMI requirements.

At least 3 countries require or have installed wide-range level instruments for containment flooding.

8 countries have Post Accident Sampling Systems (PASS) suitable for severe accident conditions.

IV.6 Control Room Air Filter Systems

Some countries have requirements for control room air filtering for design basis accidents. Other countries introduced air filtering later in connection with severe accidents. Since the questionnaire did not address the control room ventilation, table 7 may be incomplete.

IV.7 Deliberate Depressurization of Reactor Coolant System

With respect to depressurization, table 7 gives an interpretation of regulatory requirements but not necessarily the state of implementation. The purpose of deliberate depressurization is prevention of a high pressure vessel melt-through, a sequence with higher risks of steam spikes, containment direct heating, and vessel reaction forces. At least 3 countries require prevention of a high pressure vessel melt-through.

Other countries require "bleed and feed" for the primary reactor system, which includes also a depressurization of the reactor system. Since the questionnaire did not address depressurization nor "bleed and feed", table 7 may be incomplete.

IV.8 Conclusions

Containment flooding is considered useful in most countries, at least for BWR's. Only a few countries have special procedures to detect pre-existing openings. At least 6 countries have planned or performed special measures to prevent early melt-through of the containment, especially for BWR's.

Wide range instrumentation for the containment and also for stack releases are installed in all plants, post accident sampling systems for severe accidents are installed or required in the majority of plants.



Control room air filtering may be installed in many or all countries, however the questionnaire did not address this feature.

The requirement for deliberate depressurization of the primary coolant system exists only in 3 countries. However the technical possibility for depressurization exists possibly in all countries, sometimes in connection with "bleed and feed".



	CF	PO	TS	WCP	WCR	WCL	WSR	PAS	FVC	DRC
Belgium		Yes		Yes	Yes		Yes	Yes		
Finland	BWR	US	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	US
France	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes			
Germany	BWR		BWR	Yes	Yes		Yes		Yes	Yes
Italy	US	US		US	US	US	US	US		
Japan	US			Yes	Yes		Yes	Yes		
Netherland	Yes		BWR	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
Spain	US	Yes	BWR	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		
Sweden	Yes		BWR	Yes	Yes		Yes	Yes		
Switzerland	Yes			Yes	Yes	BWR	Yes	Yes	Yes	Yes
United Kingdom				Yes	Yes		Yes			
United States	US		US	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	

- CF Containment Flooding
- PO Pre-Existing Openings
- TS Thermal Shields to Prevent Containment Melt-through
- WCP Wide Range Containment Pressure
- WCR Wide Range Containment Radiation
- WCL Wide Range Containment Level
- WSR Wide Range Stack Radiation
- PAS Post Accident Sampling
- FVC Filtered Ventilation of Control Room
- DRC Depressurization Reactor Coolant System

Table 7: Miscellaneous Subjects

