

**MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES DE MITIGATION DE L'HYDROGENE PENDANT LES
ACCIDENTS GRAVES DANS LES CENTRALES NUCLEAIRES
IMPLEMENTATION OF HYDROGEN MITIGATION TECHNIQUES DURING SEVERE
ACCIDENTS IN NUCLEAR POWER PLANTS**

**Rapport rédigé par le Groupe de travail principal n°4 sur le confinement des rejets accidentels de
matières radioactives du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN)**

**ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES
ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT**

Paris

48163

Document complet disponible sur OLIS dans son format d'origine

Complete document available on OLIS in its original format

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

Pursuant to Article I of the Convention signed in Paris on 14th December 1960, and which came into force on 30th September 1961, the Organisation for Economic Co-operation and Development (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 thus 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 original Member countries of the OECD are Austria, Belgium, Canada, Denmark, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, the United Kingdom and the United States. The following countries became Members subsequently through accession at the dates indicated hereafter: Japan (28th April 1964), Finland (28th January 1969), Australia (7th June 1971), New Zealand (29th May 1973), Mexico (18th May 1994), the Czech Republic (21st December 1995), Hungary (7th May 1996), Poland (22nd November 1996) and the Republic of Korea (12th December 1996). The Commission of the European Communities takes part in the work of the OECD (Article 13 of the OECD Convention).

NUCLEAR ENERGY AGENCY

The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) was established on 1st February, 1958 under the name of the OEEC European Nuclear Energy Agency. It received its present designation on 20th April 1972, when Japan became its first non-European full Member. NEA membership today consists of all European Member countries of OECD as well as Australia, Canada, Japan, Republic of Korea, Mexico and the United States. The Commission of the European Communities takes part in the work of the Agency.

The primary objective of NEA is to promote co-operation among the governments of its participating countries in furthering the development of nuclear power as a safe, environmentally acceptable and economic energy source.

This is achieved by:

- *encouraging harmonization of national regulatory policies and practices, with particular reference to the safety of nuclear installations, protection of man against ionising radiation and preservation of the environment, radioactive waste management, and nuclear third party liability and insurance;*
- *assessing the contribution of nuclear power to the overall energy supply by keeping under review the technical and economic aspects of nuclear power growth and forecasting demand and supply for the different phases of the nuclear fuel cycle;*
- *developing exchanges of scientific and technical information particularly through participation in common services;*
- *setting up international research and development programmes and joint undertakings.*

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

© OECD 1997

*Applications for permission to reproduce or translate all or part of this
publication should be made to:*

*Head of Publications Service, OECD
2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, France.*

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES

En vertu de l'article 1er de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (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, en voie de développement économique;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont: l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les Etats-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après: le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996) et la République de Corée (12 décembre 1996). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ENERGIE NUCLEAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire (AEN) a été créée le 1er février 1958 sous le nom d'Agence Européenne pour l'Energie Nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence groupe aujourd'hui tous les pays Membres européens de l'OCDE, ainsi que l'Australie, le Canada, la République de Corée, les Etats-Unis, le Japon et le Mexique. La Commission des Communautés européennes participe à ses travaux.

L'AEN a pour principal objectif de promouvoir la coopération entre les gouvernements de ses pays participants pour le développement de l'énergie nucléaire en tant que source d'énergie sûre, acceptable du point de vue de l'environnement, et économique.

Pour atteindre cet objectif l'AEN:

- *encourage l'harmonisation des politiques et pratiques réglementaires notamment en ce qui concerne la sûreté des installations nucléaires, la protection de l'homme contre les rayonnements ionisants et la préservation de l'environnement, la gestion des déchets radioactifs, ainsi que la responsabilité civile et l'assurance en matière nucléaire;*
- *évalue la contribution de l'électronucléaire aux approvisionnements en énergie, en examinant régulièrement les aspects économiques et techniques de la croissance de l'énergie nucléaire et en établissant des prévisions concernant l'offre et la demande de services pour les différentes phases du cycle du combustible nucléaire;*
- *développe les échanges d'information scientifiques et techniques notamment par l'intermédiaire de services communs;*
- *met sur pied des programmes internationaux de recherche et développement, et des entreprises communes.*

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique de Vienne, avec laquelle elle a conclu un Accord de coopération, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine nucléaire.

© OCDE 1997

Les demandes de reproduction ou de traduction totales ou partielles de cette publication doivent être adressées à:

*M. le Chef du Service des Publications, OCDE
2. rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16. France.*

COMMITTEE ON THE SAFETY OF NUCLEAR INSTALLATIONS

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 co-ordinate the activities of the 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.

CSNI constitutes a forum for the exchange of technical information and for collaboration between organisations which can contribute, from their respective backgrounds in research, development, engineering or regulation, to these activities and to the definition of its programme of work. It also reviews the state of knowledge on selected topics of nuclear safety technology and safety assessment, including operating experience. It initiates and conducts programmes identified by these reviews and assessments in order to overcome discrepancies, develop improvements and reach international consensus in different projects and International Standard Problems, and assists in the feedback of the results to participating organisations. Full use is also made of traditional methods of co-operation, such as information exchanges, establishment of working groups and organisation of conferences and specialist meeting.

The greater part of CSNI's current programme of work is concerned with safety technology of water reactors. The principal areas covered are operating experience and the human factor, reactor coolant system behaviour, various aspects of reactor component integrity, the phenomenology of radioactive releases in reactor accidents and their confinement, containment performance, risk assessment and severe accident management. The Committee also studies the safety of the fuel cycle, conducts periodic surveys of reactor safety research programmes and operates an international mechanism for exchanging reports on nuclear power plant incidents.

In implementing its programme, CSNI establishes co-operative mechanisms with NEA's Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA), responsible for the activities of the Agency concerning the regulation, licensing and inspection of nuclear installations with regard to safety. It also co-operates with NEA's Committee on Radiation Protection and Public Health and NEA's Radioactive Waste Management Committee on matters of common interest.

COMITE SUR LA SURETE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

Le Comité de l'AEN sur la Sûreté des Installations Nucléaires (CSIN) est un comité international composé de scientifiques et d'ingénieurs. Il a été établi en 1973 pour développer et coordonner les activités de l'Agence pour l'énergie nucléaire qui concernent 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 but du Comité est d'encourager la coopération internationale en matière de sûreté nucléaire parmi les pays Membres de l'OCDE.

Le Comité constitue un cadre pour les échanges d'informations techniques et pour la collaboration entre les organisations qui peuvent, à partir de leurs domaines d'action en matière de recherche, de développement, d'ingénierie ou de réglementation, contribuer à ces activités et à la définition du programme de travail du Comité. Il examine l'état des connaissances relatives à des sujets donnés relevant des techniques de sûreté nucléaire et de l'évaluation de la sûreté, notamment l'expérience acquise en cours d'exploitation. Il lance et mène des programmes définis à partir de ces examens et évaluations en vue de venir à bout des discordances, de mettre au point des améliorations et de parvenir à un consensus international sur différents projets et des exercices de Problèmes standards internationaux; il facilite la dissémination des résultats parmi les organisations participantes. Le Comité fait également pleinement usage des moyens traditionnels de coopération tels que les échanges d'informations, la création de groupes de travail et l'organisation de conférences et de réunions de spécialistes.

La majeure partie du programme de travail actuel du CSIN est consacrée aux techniques de sûreté des réacteurs à eau. Les principaux domaines couverts sont l'expérience d'exploitation et le facteur humain, le comportement du système de refroidissement des réacteurs, divers aspects de l'intégrité des composants des réacteurs,, la phénoménologie des rejets de substances radioactives lors des accidents de réacteurs et leur confinement, le comportement de l'enceinte de confinement, l'évaluation du risque et la gestion des accidents graves. Le Comité étudie également la sûreté du cycle du combustible, procède à des examens périodiques des programmes de recherches sur la sûreté des réacteurs; il gère un mécanisme international d'échanges de rapports sur les incidents qui surviennent dans les centrales nucléaires.

Dans l'exécution de son programme, le CSIN met en place des mécanismes de coopération avec le Comité de l'AEN sur les activités nucléaires réglementaires (CANR), responsable des activités de l'Agence qui concernent la réglementation, la délivrance des autorisations et l'inspection des installations nucléaires dans le domaine de la sûreté. Il coopère également sur des sujets d'intérêt commun avec le Comité de l'AEN de protection radiologique et de santé publique et le Comité de l'AEN de la gestion des déchets radioactifs.

IMPLEMENTATION OF HYDROGEN MITIGATION TECHNIQUES
DURING SEVERE ACCIDENTS IN NUCLEAR POWER PLANTS

**A TECHNICAL OPINION PAPER PREPARED BY
THE PRINCIPAL WORKING GROUP ON THE
CONFINEMENT OF ACCIDENTAL RADIOACTIVE RELEASES
(PWG-4) OF NEA'S COMMITTEE ON THE
SAFETY OF NUCLEAR INSTALLATIONS (CSNI)**

Introduction

Severe accidents in water-cooled reactors are low-probability events as the Emergency Core Cooling System (ECCS) has been designed and specific accident management measures have been implemented to prevent severe accidents from occurring. Should it not be possible to prevent a severe accident in a water-cooled reactor, a large amount of hydrogen could be generated, notably from the reaction between steam and zirconium at high fuel clad temperatures, but also from reactions of molten core debris with concrete, water radiolysis, and reactions of structural materials with steam. The rates and quantities of hydrogen produced depend on the particular severe accident scenario and also on the reactor type (e.g. mass of zirconium in the reactor core). Depending on assumptions made, and taking account of various uncertainties, release rates of hydrogen up to several kg/s have been calculated with total hydrogen mass releases ranging from 100 kg to more than 1,000 kg for large reactors.

Hydrogen produced during a severe accident could burn close to the hydrogen source or would mix with the containment atmosphere and burn if flammable concentrations are attained and ignition sources are available (e.g., igniters, accidental sparks from electric equipment). If oxygen and ignition sources are present in the vicinity of the release, the hydrogen will ignite and it could burn as a standing flame at the release location, which is possible over a large range of jet exit diameters, jet velocities and environmental conditions. The hydrogen that will not burn close to the source will mix with steam and air and will transport in the containment building to increase global or local concentrations and to create possibly flammable conditions. If ignited at high enough hydrogen concentration, the mixture could burn as a deflagration, creating a transient pressure and temperature that could possibly challenge the containment integrity and equipment. In regions of higher hydrogen concentration and under special geometric conditions, an accelerated flame or even a local detonation may occur which would produce higher dynamic loads than a deflagration and a more serious threat to equipment and structures. Should it occur in spite of its low probability, a global detonation, following prolonged and extensive accumulation of hydrogen in the containment atmosphere, would be a major threat to the containment integrity.

The goal of hydrogen mitigation techniques is to prevent loads, resulting from hydrogen combustion, which could threaten containment integrity. The risk of containment failure depends on the overall hydrogen concentration which is dependent on the amount of hydrogen released and the containment volume. A possible containment failure also depends on the containment structure and design which is very important in the resistance of the containment to a global combustion.

Geometrical sub-compartmentalization is also very important, because significant amounts of hydrogen could accumulate in compartments to create high local concentrations of hydrogen that could be well within the detonability limits.

Once accident management measures aimed at preventing severe accidents from occurring have failed and hydrogen is being generated and released to the containment atmosphere in large amounts, the first step is to reduce the possibility of hydrogen accumulating to flammable concentrations. Where flammable concentrations cannot be precluded, the next step is to minimize the volume of gas at flammable concentrations and the third and last step is to prevent further increasing hydrogen levels from the flammable to detonable mixture concentrations.

The purpose of this paper is to present a snapshot, from a technical viewpoint, of the current situation regarding the implementation of hydrogen mitigation techniques for severe accident conditions in nuclear power plants. Broader aspects related to overall accident management policies are not considered here.

Hydrogen Concentration Limitation Techniques

Hydrogen concentrations are naturally lower in large open containment volumes, such as large dry PWR (Pressurized-Water Reactor) containments. Two different approaches are followed to limit hydrogen concentration in the containment atmosphere. In the first one, hydrogen combustion is induced by deliberate **ignition** immediately after the gas mixture has reached the flammability limit. In the second, hydrogen is **recombined** catalytically with oxygen to form water. The reaction of catalytic recombination starts before hydrogen concentration reaches the flammability limit and is effective also under steam inerted conditions.

(A) IGNITERS :

Igniters initiate combustion and remove hydrogen from containment volumes (wherever and whenever flammable mixtures are created) by slow deflagrations and subsequent distribution of the energy release in both time and space. Igniters are intended to intercept any further penetration of the flammable range by initiating combustion at 'safe' concentrations, that is concentrations that are not capable of producing energetic modes of combustion. Igniters, of course require a flammable mixture to remove the hydrogen. The combustion produced is relatively benign and occurs near the flammable limits. The igniters should be optimally situated so that the flame would not propagate to regions of higher concentrations and produce damaging effects. Optimum igniter placement thus requires some judgement and analysis of hydrogen distribution patterns.

There are three qualitatively different igniter types available :

(i) Glow plug igniters :

Glow plug igniters are resistance-heated elements similar to those used in diesel engines. They need about 100 to 150 watts of electrical power, and are operated automatically, triggered from accident signals, or manually, according to operating procedures, from the control room. They are physically robust, their operating life is long and they produce ignitions very near the limits of flammability. On the other hand, the high energy required calls for a suitable power source to be available on demand. Moreover, their installation requires a large number and length of high-temperature resistant cables and additional penetrations into the containment.

(ii) **Spark igniters :**

Spark igniters trigger combustion of the hydrogen by generating a high energy spark. The available design is battery-powered and an enclosure protects all parts associated with spark generation against environmental impacts. The spark gap is located below the housing. Following a severe accident, rising pressure and/or temperature triggers the battery-operated electronic ignition system. Typically the igniters can generate sparks with a frequency of, e.g., 0.1 - 1 Hz or more, if required, and for some days (up to one month). There is no need for external power or operator action. However, the trigger threshold needs to be considered. A too low threshold would be subject to inadvertent triggering and draining of the batteries; a too high threshold would not be assured to be activated by signals from the accident.

(iii) **Catalytic igniters :**

In a catalytic igniter the exothermic reaction of hydrogen and oxygen at the catalyst surface provides the energy for the ignition source. Catalyst materials are arranged to produce surface temperatures capable of igniting hydrogen mixtures near the limits of flammability. The active materials are accommodated in a metal housing protected at the top against spray-water. The system is completely passive but is not as fast-acting as the electrically-powered ignition sources.

(B) CATALYTIC RECOMBINERS :

Catalytic recombiners recombine hydrogen with oxygen at concentrations below the flammability limit. The heat of reaction is used to produce natural convective flow over suitably-arranged catalyst surfaces. As a consequence of their passive self-start and self-generated flows, they do not need external power or operator action and have come to be referred to as **passive autocatalytic recombiners (PARs)**. Catalytic recombiner operation increases convection in containment compartments, thereby promoting mixing. Commercially available catalytic recombiner units report hydrogen removal capacities best compared in terms of the inlet area of the units : typically, about 5 kg/hour per square meter of inlet (depending on the hydrogen concentration). Installation of several strategically-placed units is typically recommended to obtain the desired coverage of the containment volume and the desired overall capacity. Catalytic recombiners are ultimately subject to mass transfer limitations and may not be capable of removing hydrogen at rates required under fast-developing conditions, for example, in the vicinity of the hydrogen release.

Tests of passive autocatalytic recombiners have been conducted in the past, mainly at the Battelle Model Containment in Germany and the AECL Whiteshell Laboratories in Canada; more tests are under way at the H2PAR facility in Cadarache, France and the Surtsey facility at Sandia National Laboratories, U.S.A. to ascertain, e.g., the start-up characteristics, performance, scaling phenomena, and the innocuity of passive auto-catalytic recombiners under atmospheres representative of severe accident environments. A particularly important objective is to demonstrate that with careful attention being paid to the design and construction of the catalyst, catalyst poisoning by materials such as carbon monoxide, iodine and aerosols present in the containment atmosphere will not reduce fundamentally the effectiveness of the PARs.

Hydrogen Mitigation

Hydrogen mitigation can be effected using a mixture of different accident management measures, for example by

- limiting hydrogen production, to the extent feasible (the ECCS is the only reliable system to prevent hydrogen generation) and its release. Hydrogen release of a partially damaged core depends, e.g., on in-vessel core reflood and coolability, and on the limitation or termination of molten core/concrete interactions;
- use of a PAR system or igniters, or a combination of these;
- prevention of energetic forms (accelerated flames and detonations) of hydrogen combustion by post accident inerting gas (e.g., carbon dioxide) injection to dilute the containment atmosphere. The strategy is to inject an amount of inerting gas insufficient to avoid burnable mixtures, but sufficient to reduce the severity of any combustion to a harmless level. The long term removal of the hydrogen could be achieved by a small PAR system;
- prevention of any hydrogen combustion could be achieved by inerting the containment atmosphere with nitrogen or carbon dioxide (pre-accident inerting or post-accident inerting). While pre-inerting could affect normal plant operation, the post-accident inerting needs early operator actions. Longer-term hydrogen management aspects after inerting have to be further investigated.

Status and Trends of Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques

Hydrogen mitigation systems were installed in several reactor types after the occurrence of the TMI-2 accident. Most small volume containments with pressure-suppression systems (mostly Boiling Water Reactors - BWRs - with Mark I and Mark II containments) have been inerted, i.e. filled with nitrogen, during normal power operation to prevent any hydrogen combustion during all types of accident. Deliberate ignition systems have been installed in several plants to cope with severe accident conditions. Glow plug igniters have been fitted in some BWRs with Mark III containments, multi-unit CANDU stations, some single-unit CANDU stations and also in some PWR containments with ice condensers; this is to limit hydrogen concentration in the containment atmosphere by early ignition of combustible gas mixtures.

In large dry PWR containments, reliance was predominantly on large dilution volumes combined with high ultimate load capabilities. Threats to the integrity of this type of containment from hydrogen combustion were assessed differently in published risk studies. Because of the large volume of these PWR containments it appeared in the past doubtful whether a detonable mixture could be obtained over the entire containment. It was argued that there might be a risk of local detonations due to local conditions. These detonations would probably not damage the containment but under specific conditions they could damage internal equipment and structures, leading to missile generation threatening the containment.

Continued research, new technology and Level 2 PSA (Probabilistic Safety Analysis) studies have prompted further assessments. New initiatives are being taken in several Member countries to implement hydrogen mitigation measures in some large dry containments. Passive autocatalytic recombiners (PARs) have already been installed in some Belgian nuclear power plants as a means to improve safety margins for hydrogen combustion in severe accident

situations; remaining Belgian plants will be equipped before the end of 1997. Strong recommendations have been made in Germany by the RSK (Reaktor-Sicherheitskommission) for the implementation of a hydrogen mitigation system in PWRs with large dry containments; in response, German utilities have indicated their preference for a PAR system supplemented by either the installation of igniters in selected locations or post-accident-dilution (PAD) by inerting gas injection. In the Netherlands, it has been decided to install a PAR system in the operating PWR containment. In France, the present trend is to install PAR systems in PWR plants, provided their efficiency and their innocuity are clearly demonstrated. The first plants to be equipped would be the 1,300 MW(e) and 1,400 MW(e) units. In the future, Canada will propose for sale CANDU 9 plants equipped with recombiners and igniters. Backfitting of recombiners to operating CANDU plants is under consideration by some utilities to further improve hydrogen safety margins in the long term of an accident.

It appears from a Workshop on the Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques organised by the OECD Nuclear Energy Agency in Winnipeg, Manitoba, Canada in May 1996* that the current trend among the countries implementing hydrogen mitigation measures in large dry containments favours the installation of **passive autocatalytic recombiners**, possibly supplemented by other measures (igniters or post-accident dilution). PARs are also seen as a promising alternative to older thermal (active) recombiners which are installed for long term hydrogen control following Design Basis Accidents. The installation of PARs is also under discussion for future reactor concepts. The installation of catalytic recombiners is being considered for the AP600 Reactor for design basis accidents. For the advanced CANDU reactors and the European Pressurized Water Reactor (EPR), it is favoured for all accident scenarios including severe ones.

Other important conclusions of the Workshop are summarized below :

- (i) **Igniter** technology is established as a method of preventing damaging burns by ensuring ignition near the limits of flammability. Igniters could deal with higher hydrogen flow rates than PARs but they have to be accurately located, and especially a glow plug system needs external power. Therefore, reliable power supply and igniter placement are important for the effective reduction of hydrogen concentration. Implementation of igniters requires study of gas flow patterns in representative scenarios to optimize location selection. Igniters and PARs are not mutually exclusive solutions; they can be used in some combinations for a better hydrogen control.
- (ii) **Post-Accident Inertisation** is a concept under review which involves injection of an inerting gas like nitrogen or carbon dioxide in fluidized or gaseous form into containment to inert the gas mixture. Another concept is **Post-Accident Dilution** of a hydrogen containing atmosphere by injecting an inerting gas like carbon dioxide into the containment. Although both concepts were shown at the Workshop to be feasible, no practical applications have been assessed up to now and full engineering to nuclear containment is still required. Disadvantages of these concepts could be the higher pressure of the containment atmosphere and the more complicated initiation procedure in the absence of automatic initiation since the timing is critical. This places an additional burden on operating staff to perform this

* - NEA/CSNI/R(96)8 : Proceedings of the OECD Workshop on the Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques; Winnipeg, Manitoba, Canada; 13-15 May 1996.

- NEA/CSNI/R(96)9 : Summary and Conclusions of the OECD Workshop on the Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques; Winnipeg, Manitoba, Canada; 13-15 May 1996.

accident management function, compared to the use of igniters or PARs, which in most cases require no operator action. A simplified initiation procedure (automatic or not) needs to be developed. An advantage of these concepts could be the reported low costs for multiple unit application.

- (iii) **Uncertainties** are identified in the scenarios for hydrogen generation and release rate, hydrogen distribution processes in the containment and hydrogen combustion behaviour but they are not of a nature as to prevent implementation of hydrogen mitigation measures. Nonetheless, reduction of uncertainties is needed to improve confidence in the effectiveness and safety benefit of the proposed measures.

MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES DE MITIGATION DE L'HYDROGENE
PENDANT LES ACCIDENTS GRAVES DANS LES CENTRALES NUCLEAIRES

**AVIS TECHNIQUE ETABLI PAR LE GROUPE DE TRAVAIL PRINCIPAL SUR
LE CONFINEMENT DES REJETS ACCIDENTELS DE MATIERES RADIOACTIVES
(GTP-4) DU COMITE
SUR LA SURETE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES (CSIN) DE L'AEN**

Introduction

Les accidents graves dans les réacteurs refroidis par eau sont des événements de faible probabilité en raison de la conception même du système de refroidissement de secours du coeur (ECCS) et de la mise en oeuvre de mesures spécifiques de gestion des accidents qui visent à empêcher des accidents graves de se produire. A supposer qu'il ne soit pas possible d'empêcher un accident grave dans un réacteur refroidi par eau, une grande quantité d'hydrogène pourrait être produite, notamment du fait de la réaction entre la vapeur et le zirconium des gaines portées à des températures très élevées, mais également du fait des réactions entre les débris du coeur fondu et le béton, de la radiolyse de l'eau et des réactions des matériaux de structure avec la vapeur. Les vitesses de libération et les quantités d'hydrogène produites dépendent du scénario d'accident grave considéré et également du type de réacteur (par exemple, masse de zirconium dans le coeur du réacteur). En fonction des hypothèses retenues et eu égard aux diverses incertitudes, on a calculé des débits de libération d'hydrogène atteignant plusieurs kilogrammes par seconde, la masse totale d'hydrogène libérée s'échelonnant entre 100 kg et plus de 1 000 kg pour des réacteurs de grande taille.

L'hydrogène produit pendant un accident grave pourrait s'enflammer à proximité de la source ou se mélanger à l'atmosphère de l'enceinte de confinement et brûler si des concentrations inflammables sont atteintes et si des sources d'allumage sont présentes (par exemple, igniteurs, étincelles accidentelles produites par l'équipement électrique). En présence de sources d'oxygène et d'allumage à proximité du rejet, l'hydrogène s'enflammera et il pourra entretenir une flamme permanente à l'emplacement du rejet, situation possible dans beaucoup de combinaisons de diamètres d'expulsion des gaz, de vitesses d'expulsion et de conditions ambiantes. L'hydrogène qui ne brûlera pas à proximité de la source se mélangera avec la vapeur et l'air et sera transporté dans l'enceinte de confinement, d'où une augmentation des concentrations globales ou locales et l'apparition possible de conditions permettant l'allumage de l'hydrogène. Si l'hydrogène prend feu à une concentration suffisamment élevée, la combustion du mélange peut prendre la forme d'une déflagration, et provoquer une pointe de pression et de température susceptible de menacer l'intégrité et l'équipement de l'enceinte de confinement. Dans des zones de forte concentration d'hydrogène et dans certaines configurations géométriques, une accélération de flamme, voire une détonation locale peut se produire, ce qui entraînerait des charges dynamiques plus élevées qu'une déflagration et un danger plus grave pour l'équipement et les structures. Si, en dépit de sa faible probabilité, une détonation globale devait se produire à l'issue d'une accumulation prolongée et importante d'hydrogène dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement, un tel événement constituerait une grave menace pour l'intégrité de l'enceinte de confinement.

Les techniques de mitigation de l'hydrogène visent à éviter que la combustion de l'hydrogène ne provoque des surcharges susceptibles de mettre en péril l'intégrité de l'enceinte de confinement. Le risque de défaillance de l'enceinte dépend de la concentration globale d'hydrogène qui est subordonnée à la quantité d'hydrogène libérée et au volume de l'enceinte de confinement. Une défaillance éventuelle de l'enceinte de confinement dépend également de sa structure et de sa conception qui jouent un rôle crucial dans la résistance de l'enceinte à une combustion globale. La division en sous-compartiments indépendants est également très importante car des quantités significatives d'hydrogène pourraient s'accumuler dans les casemates et créer des concentrations localement élevées d'hydrogène susceptibles de franchir largement les limites de la détonabilité.

Lorsque les mesures de gestion des accidents visant à esquiver les accidents graves n'ont pas suffi et que de l'hydrogène est produit et libéré massivement dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement, la première étape consiste à limiter les possibilités d'accumulation d'hydrogène à des concentrations où il devient inflammable. Quand de telles concentrations ne peuvent pas être évitées, l'étape suivante consiste à réduire au minimum le volume de gaz présentant des concentrations inflammables et la troisième et dernière étape consiste à éviter que l'hydrogène n'atteigne des concentrations telles qu'une détonation devienne possible.

Le présent document est un instantané, sous l'angle technique, de la situation actuelle concernant la mise en oeuvre des techniques de mitigation de l'hydrogène pendant les accidents graves dans les centrales nucléaires. Les aspects plus généraux relatifs aux politiques globales de gestion des accidents ne sont pas abordés dans le présent document.

Techniques de limitation de la concentration d'hydrogène

Bien entendu, les concentrations d'hydrogène sont plus faibles dans les grandes enceintes de confinement dégagées, telles que les grandes enceintes sèches de REP (réacteur à eau sous pression). Deux méthodes distinctes sont employées pour limiter la concentration d'hydrogène dans l'atmosphère de confinement. La première consiste à **enflammer** délibérément l'hydrogène dès que le mélange gazeux a atteint le seuil d'inflammabilité. La seconde consiste à **recombiner**, avec catalyse, l'hydrogène et l'oxygène pour former de l'eau. La réaction de recombinaison catalytique commence avant que la concentration d'hydrogène atteigne le seuil d'inflammabilité et est également efficace en cas d'inertage par la vapeur.

(A) IGNITEURS :

Les igniteurs provoquent la combustion et éliminent l'hydrogène des volumes de confinement (dès que et partout où se forment des mélanges inflammables) par des déflagrations lentes, d'où une répartition de l'énergie libérée à la fois dans le temps et dans l'espace. Les igniteurs visent à empêcher tout franchissement d'une limite d'inflammabilité donnée en déclenchant une combustion à des niveaux de concentration "sûrs", c'est-à-dire des concentrations insuffisantes pour provoquer des modes de combustion énergétiques. L'élimination de l'hydrogène par les igniteurs nécessite bien entendu la présence d'un mélange inflammable. La combustion produite est relativement inoffensive et s'effectue près du seuil d'inflammabilité. La localisation des igniteurs doit être très étudiée de façon que la flamme ne se propage pas vers des régions où les concentrations sont plus élevées et produise des effets dommageables. Pour positionner au mieux les igniteurs, il faut donc faire preuve de jugement et analyser les modes de répartition de l'hydrogène.

Il existe trois types d'igniteurs qualitativement différents :

(i) **Igniteurs à bougies :**

Les igniteurs à bougies sont des éléments chauffés au moyen d'une résistance analogues à ceux utilisés dans les moteurs diesel. Ils requièrent une puissance électrique de 100 à 150 watts et fonctionnent, soit sur le mode automatique, déclenchés par des signaux d'accidents, soit actionnés manuellement depuis la salle de commande, en conformité avec les procédures d'exploitation. Ils sont physiquement robustes, leur durée de vie est longue et ils produisent des combustions à des concentrations très proches des seuils d'inflammabilité. En revanche, ils consomment beaucoup d'énergie, d'où la nécessité de pouvoir disposer au moment voulu d'une alimentation électrique appropriée. En outre, leur installation requiert un grand nombre et une grande longueur de câbles résistants à des hautes températures et des traversées supplémentaires de l'enceinte de confinement.

(ii) **Igniteurs à étincelle :**

Les igniteurs à étincelle provoquent une combustion de l'hydrogène en produisant une étincelle de haute énergie. Le modèle disponible fonctionne sur accumulateurs et un boîtier protège tous les éléments associés à la production des étincelles contre les agressions du milieu. L'arc de décharge se produit sous le boîtier. En cas d'accident grave, l'augmentation de la pression et/ou de la température déclenche le système d'allumage électronique sur accumulateurs. Typiquement, les igniteurs peuvent produire des étincelles selon une fréquence de, par exemple, 0.1 à 1 Hz ou davantage, si nécessaire, pendant plusieurs jours (jusqu'à un mois). Aucune source d'énergie extérieure ni aucune intervention humaine n'est requise. Toutefois, il convient d'étudier de près le seuil de déclenchement. Un seuil trop bas pourrait provoquer un déclenchement intempestif et décharger les accumulateurs ; un seuil trop haut risquerait de ne pas être activé par les signaux de l'accident.

(iii) **Igniteurs catalytiques :**

Dans un igniteur catalytique, la réaction exothermique de l'hydrogène et de l'oxygène à la surface du catalyseur fournit l'énergie pour la source d'allumage. Les matériaux catalytiques sont disposés de façon à produire des températures superficielles susceptibles d'entraîner la combustion des mélanges d'hydrogène à des niveaux proches des seuils d'inflammabilité. Les matériaux actifs sont placés dans un boîtier métallique protégé à son sommet contre les aspersion d'eau. Le système est totalement passif, mais il ne réagit pas aussi rapidement que les sources d'allumage alimentées électriquement.

(B) RECOMBINEURS CATALYTIQUES :

Les recombineurs catalytiques recombinent l'hydrogène avec l'oxygène à des concentrations inférieures au seuil d'inflammabilité. La chaleur de réaction est utilisée pour produire un courant de convection naturelle sur des surfaces de catalyse correctement disposées. Comme le démarrage et la production des courants de convection se font automatiquement sur un mode passif, les recombineurs catalytiques n'ont pas besoin de sources d'énergie externes ni de l'intervention des opérateurs d'où leur dénomination actuelle : **recombineurs autocatalytiques passifs** (RAP). La mise en oeuvre de recombineurs catalytiques accélère la convection dans les casemates de l'enceinte de confinement et, partant favorise les mélanges. Les modèles de recombineurs catalytiques commercialement disponibles présentent des capacités d'élimination de l'hydrogène pour lesquelles le meilleur critère de comparaison est la surface d'admission des unités : typiquement, environ 5 kg/heure par m² de surface d'admission (subordonnée à la concentration

d'hydrogène). L'installation de plusieurs unités stratégiquement placées est généralement recommandée pour obtenir la couverture souhaitée du volume de confinement et la capacité globale désirée. En dernière analyse, les limitations des recombineurs catalytiques sont liées aux transferts de masse et ces dispositifs risqueraient de ne pas éliminer l'hydrogène aux vitesses requises lorsque les conditions évoluent rapidement, par exemple à proximité du rejet d'hydrogène.

Des essais de recombineurs autocatalytiques passifs ont été réalisés dans le passé, principalement dans le Modèle d'enceinte de confinement de Battelle en Allemagne et dans les laboratoires de Whiteshell de l'EACL au Canada ; des essais supplémentaires sont en cours dans l'installation H2PAR (Cadarache, France) et l'installation Surtsey (Sandia National Laboratories, Etats-Unis) pour vérifier, par exemple, les caractéristiques de démarrage, les performances, les phénomènes d'échelle et l'innocuité des recombineurs autocatalytiques passifs dans des atmosphères représentatives d'environnement d'accidents graves. Un des objectifs primordiaux consiste à démontrer, qu'à condition d'être vigilants dans la conception et la construction du catalyseur, l'efficacité du RAP ne sera pas fondamentalement réduite du fait d'un empoisonnement du catalyseur par des matières comme le monoxyde de carbone, l'iode et les aérosols présents dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement.

Mitigation de l'hydrogène

La mitigation de l'hydrogène peut être assurée au moyen d'une combinaison de diverses mesures de gestion des accidents, par exemple :

- limiter, dans la mesure du possible, la production d'hydrogène (le système de refroidissement de secours du coeur est le seul système fiable pour éviter la production d'hydrogène) et son rejet. Le rejet d'hydrogène d'un coeur partiellement endommagé dépend, par exemple, du renoyage et de la capacité de refroidissement du coeur à l'intérieur de la cuve et de la limitation ou de l'arrêt des interactions coeur fondu/béton ;
- utiliser un système de RAP ou d'igniteurs, ou une conjugaison des deux ;
- empêcher les formes énergétiques (flammes accélérées et détonations) de combustion de l'hydrogène par injection de gaz d'inertage après l'accident (par exemple dioxyde de carbone) pour diluer l'atmosphère de l'enceinte de confinement. La stratégie consiste à injecter une quantité de gaz insuffisante pour empêcher la formation de mélanges inflammables, mais suffisante pour ramener la combustion à un niveau sans danger. L'élimination à long terme de l'hydrogène pourrait être obtenue au moyen d'un petit système de RAP ;
- empêcher toute combustion d'hydrogène par inertage de l'atmosphère de l'enceinte de confinement au moyen d'azote et de dioxyde de carbone (inertage avant ou après accident). Alors qu'un inertage avant accident pourrait affecter l'exploitation normale de la centrale, l'inertage post-accidentel nécessite une intervention humaine rapide. Les aspects de la gestion à plus long terme de l'hydrogène après une procédure d'inertage requièrent un examen plus approfondi.

Etat d'avancement et perspectives de mise en oeuvre des techniques de mitigation de l'hydrogène

Des systèmes de mitigation de l'hydrogène ont été installés dans plusieurs types de réacteurs à la suite de l'accident de TMI-2. La plupart des enceintes de confinement de petit volume dotées de systèmes de suppression de la pression (essentiellement les réacteurs à eau bouillante - REB - comprenant des enceintes de confinement Mark I et Mark II) ont été placées sous atmosphère inerte, c'est-à-dire remplies en permanence d'azote pendant l'exploitation normale pour éviter toute combustion d'hydrogène, quel que soit le type d'accident. Des systèmes d'allumage délibéré ont été installés dans plusieurs centrales pour faire face à des conditions d'accidents graves. Des igniteurs à bougies ont été installés dans certains REB possédant des enceintes de confinement Mark III, dans des centrales CANDU à plusieurs tranches, dans quelques centrales CANDU à tranche unique et également dans quelques enceintes de confinement de REP équipées de condenseurs à glace. Il s'agit par là de limiter la concentration d'hydrogène dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement par allumage précoce des mélanges de gaz combustibles.

Dans les grandes enceintes de confinement sèches des REP, on se reposait principalement sur la dilution inhérente aux grands volumes, combinée à des capacités élevées de résistance aux charges. Les dangers menaçant l'intégrité de ce type d'enceintes de confinement dus à la combustion de l'hydrogène ont été évalués différemment dans les études publiées sur les risques. En raison du grand volume des enceintes de confinement de ces REP, on doutait dans le passé qu'un mélange détonant puisse occuper la totalité de l'enceinte de confinement. D'aucuns ont avancé qu'il pourrait y avoir un risque de détonations locales, elles-mêmes dues à des conditions locales. Ces détonations n'endommageraient probablement pas l'enceinte de confinement mais dans certaines conditions, elles pourraient endommager l'équipement et les structures internes, du fait de la production de projectiles mettant en danger l'enceinte de confinement.

Les progrès de la recherche, les nouvelles technologies et les EPS (étude probabiliste de sûreté) de niveau 2 ont donné lieu à des évaluations plus approfondies. De nouvelles initiatives sont prises dans plusieurs pays Membres pour mettre en oeuvre des mesures de mitigation de l'hydrogène dans quelques grandes enceintes de confinement sèches. Des recombineurs autocatalytiques passifs ont déjà été installés dans quelques centrales nucléaires belges comme moyens d'accroître les marges de sûreté relatives à la combustion de l'hydrogène dans des conditions d'accidents graves ; les autres centrales belges seront équipées avant la fin 1997. En Allemagne, la RSK (Commission de la sûreté des réacteurs) a vivement recommandé la mise en oeuvre d'un système de mitigation de l'hydrogène dans les REP dotés de grandes enceintes de confinement sèches ; en réaction à cette recommandation, les compagnies d'électricité allemandes ont indiqué leur préférence pour un système de RAP complété, soit par l'installation d'igniteurs dans des emplacements stratégiques, soit par une dilution après accident par injection de gaz d'inertage. Aux Pays-Bas, il a été décidé d'installer un système de RAP dans l'enceinte de confinement du REP en exploitation. En France, la tendance actuelle est d'installer des systèmes de RAP dans les centrales équipées de REP, à condition que leur efficacité et leur innocuité soient clairement démontrées. Les premières centrales équipées seraient les tranches 1 300 MW(e) et 1 400 W(e). Dans l'avenir, le Canada commercialisera les centrales CANDU 9 équipées de recombineurs et d'igniteurs. Plusieurs compagnies d'électricité envisagent d'installer des recombineurs dans les centrales CANDU en exploitation pour améliorer les marges de sûreté relatives à l'hydrogène dans la phase à long terme d'un accident.

Il ressort d'une séance de travail du CSIN sur la mise en oeuvre des techniques de mitigation de l'hydrogène organisée par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE à Winnipeg, Manitoba,

Canada, en mai 1996* que la tendance actuelle parmi les pays qui mettent en oeuvre des mesures de mitigation de l'hydrogène dans de grandes enceintes de confinement sèches consiste à installer des **recombineurs autocatalytiques passifs** en les complétant éventuellement par d'autres mesures (igniteurs ou dilution après accident). Les RAP sont également considérés comme une solution de remplacement prometteuse par rapport aux anciens recombineurs (actifs) thermiques qui sont installés pour la maîtrise à long terme de l'hydrogène à la suite d'accidents de dimensionnement. L'installation de RAP est également envisagée pour les modèles futurs de réacteurs. On étudie la possibilité d'installer des recombineurs catalytiques dans le Réacteur AP600 pour faire face aux accidents de dimensionnement. S'agissant des réacteurs avancés CANDU et du Réacteur à eau sous pression européen, le RAP est la solution qui recueille le plus de suffrages pour tous les scénarios d'accidents, y compris les accidents graves.

Les autres conclusions importantes de cette séance de travail sont résumées ci-après :

- (i) La technologie des **igniteurs** est bien établie en tant que méthode permettant d'éviter les explosions destructrices en provoquant un allumage à des niveaux proches des seuils d'inflammabilité. Les igniteurs pourraient permettre de faire face à des débits d'hydrogène plus élevés que les RAP mais ils doivent être placés avec précision et un système à bougies nécessite une alimentation électrique extérieure. Par conséquent, une réduction effective de la concentration d'hydrogène passe par une alimentation électrique fiable et un positionnement étudié des igniteurs. L'utilisation d'igniteurs nécessite l'étude des régimes d'écoulement des gaz dans des scénarios représentatifs pour optimiser le choix des emplacements. Les igniteurs et les RAP ne sont pas des solutions mutuellement exclusives ; certaines combinaisons peuvent être utilisées pour mieux maîtriser l'hydrogène.
- (ii) Actuellement à l'étude, le concept d'**Inertage post-accidentel** met en jeu l'injection d'un gaz d'inertage comme l'azote ou le dioxyde de carbone sous forme liquide ou gazeuse dans l'enceinte de confinement pour rendre inerte le mélange gazeux. On étudie également le concept de **Dilution post-accidentelle** d'une atmosphère contenant de l'hydrogène par injection d'un gaz d'inertage comme le dioxyde de carbone à l'intérieur de l'enceinte de confinement. Bien que les participants à la séance de travail aient conclu à la faisabilité de ces deux concepts, aucune application pratique n'a été évaluée à ce jour et une étude technique complète reste à faire pour le confinement nucléaire. Les inconvénients de ces solutions pourraient résider dans l'élévation de la pression de l'atmosphère de confinement et le surcroît de complication de la procédure de mise en oeuvre en l'absence de déclenchement automatique, car la chronologie joue un rôle crucial. L'exécution de cette fonction de gestion des accidents constitue une charge supplémentaire pour le personnel d'exploitation par rapport aux igniteurs ou aux RAP qui, le plus souvent, n'exigent pas d'intervention humaine. Il faudrait mettre au point une procédure de déclenchement simplifiée (automatique ou non). En revanche, ces solutions pourraient être économiquement avantageuses dans les installations à tranches multiples.
- (iii) Il existe des **incertitudes** dans les scénarios relatifs à la production et aux taux de libération de l'hydrogène, les processus de répartition de l'hydrogène dans l'enceinte de confinement et les modes de combustion de l'hydrogène, mais elles ne sont pas de nature à empêcher la

* - NEA/CSNI/R(96)8 : Proceedings of the OECD Workshop on the Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques ; Winnipeg, Manitoba, Canada, 13-15 mai 1996.

- NEA/CSNI/R(96)9 : Summary and Conclusions of the OECD Workshop on the Implementation of Hydrogen Mitigation Techniques ; Winnipeg, Manitoba, Canada, 13-15 mai 1996.

mise en oeuvre de mesures de mitigation de l'hydrogène. Néanmoins, ces incertitudes doivent être réduites pour renforcer la confiance dans les avantages procurés par les mesures proposées en matière d'efficacité et de sûreté.

ANNEX - ANNEXE

MEMBERS OF THE CSNI PRINCIPAL WORKING GROUP ON
THE CONFINEMENT OF ACCIDENTAL
RADIOACTIVE RELEASES (PWG4)

MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL PRINCIPAL DU CSIN
SUR LE CONFINEMENT DES REJETS ACCIDENTELS
DE MATIERES RADIOACTIVES (GTP4)

(December/Décembre 1996)

Austria/Autriche	Dr. Gert <u>Sdouz</u> (Forschungszentrum Seibersdorf)
Belgium/Belgique	Dr. Benoît <u>De Boeck</u> (AVN) - <i>Chairman/Président</i> Dr. Elie <u>Stubbe</u> (Tractebel)
Canada	Mr. James W. <u>Blyth</u> (AECB/CCEA) Mr. Grant W. <u>Koroll</u> (AECL/EACL)
Czech Republic/République tchèque	Mr. Josef <u>Kujal</u> (NRI Rez)
Denmark/Danemark	Dr. Peter B <u>Fynbo</u> (Risø)
Finland/Finlande	Mr. Juhani <u>Hyvärinen</u> (STUK) Mr. Risto <u>Sairanen</u> (VTT)
France	Mr. Jacques <u>Duco</u> (IPSN)
Germany/Allemagne	Dr. Manfred <u>Firnhaber</u> (GRS) Dr. Gerda <u>Preusser</u> (Siemens/KWU) Mr. Jürgen <u>Rohde</u> (GRS) Mr. Werner <u>Scholtyssek</u> (FZK)
Greece/Grèce	Prof. Demetrios <u>Leonidou</u> (National Technical University)
Hungary/Hongrie	Dr. Zsolt <u>Téchy</u> (VEIKI)
Italy/Italie	Dr. Felice <u>De Rosa</u> (ENEA) Mr. Gianfilippo <u>Furrer</u> (ANPA/DISP)
Japan/Japon	Dr. Jun <u>Sugimoto</u> (JAERI) Mr. Nobuo <u>Tanaka</u> (NUPEC)
Korea/Corée	Dr. Hee-Dong <u>Kim</u> (KAERI) Dr. Jong-In <u>Lee</u> (KINS)

Mexico/Mexique	Dr. Jaime <u>Morales</u> (IIE) Mr. Salvador <u>Sandoval V.</u> (CNSNS)
The Netherlands/Pays-Bas	Mr. Pieter J. <u>de Munk</u> (KFD) Mr. Johan <u>Kanij</u> (KEMA) Mr. Peter M. <u>Stoop</u> (ECN)
Spain/Espagne	Mr. José <u>Puga</u> (UNESA) Mr. Fernando <u>Robledo</u> (CSN)
Sweden/Suède	Dr. Wiktor <u>Frid</u> (SKI)
Switzerland/Suisse	Mr. Salih <u>Güntay</u> (PSI) Dr. Olivier <u>Zuchuat</u> (HSK)
United Kingdom/Royaume Uni	Dr. Nigel E. <u>Buttery</u> (NE) Mr. J. Peter <u>Rothwell</u> (HSE)
United States/Etats-Unis	Mr. Charles <u>Ader</u> (NRC) Dr. Sudhamay <u>Basu</u> (NRC) Mr. Steven W. <u>Sorrell</u> (DOE)
European Commission/ Commission Européenne	Mr. Enzo <u>Della Loggia</u> (DG XII) Dr. Giovanni <u>De Santi</u> (JRC/CCR Ispra) Dr. Alan V. <u>Jones</u> (JRC/CCR Ispra)
IAEA/AIEA	Dr. Leonid <u>Kabanov</u> (ESS)
UNIPEDA	Mrs. Marie-Hélène <u>Boschiero</u> (EDF) Mr. Ivo <u>Tripputi</u> (ENEL)
OECD (NEA)/OCDE (AEN)	Dr. Jacques <u>Royen</u> - <i>Secretary/Secrétaire</i>