PARLIAMENTARY ASSEMBLY
OF THE
COUNCIL OF EUROPE

23 September 1987 **Doc. 5751**

OPINION

on nuclear accidents[1]

presented by the Committee on Science and Technology[2]
(Rapporteur : Mr de BEER)

The Committee on Science and Technology had intended to contribute to the Assembly debate on nuclear accidents by means of a report on "nuclear safety and the future of the civil nuclear industry" and had instructed its Rapporteur on nuclear energy, Mr Miller, to prepare such a report. This was done and Mr Miller's report was adopted by the committee on 6 May 1987. Subsequently the Standing Committee decided at its meeting on 1 July 1987 that the Committee on Science and Technology should produce not a report but an opinion to the basic report that would be presented by the Social and Health Affairs Committee. In consequence, the Committee on Science and Technology decided to present the previously adopted report as its opinion for the debate.

Some member states do not want nuclear energy. Other member states, however, are determined to carry on with nuclear energy. The Committee on Science and Technology feels therefore that the Parliamentary Assembly should not engage in a debate *pro* or *contra* nuclear energy. Viewed in that light, recommendations for instance asking to accept a temporary moratorium in new constructions or to shut down existing plants are not advisable. Nor would it be sensible to give opinions that rouse public feelings against nuclear energy.

In its report, the Committee on Science and Technology has been particularly engaged in the question: "What practical measures could be suggested to make nuclear energy safer?". A good number of these measures, handed over by experts, are hereby presented as amendments to the draft recommendation and draft resolution of the Social and Health Affairs Committee.

1. See Order No. 429 (1986); and Doc. 5764 (report of the Social and Health Affairs Committee).

2. *a.* Approved by the committee on 2 September 1987.
b. See 16th and 17th Sittings, 7 October 1987.

ASSEMBLÉE PARLEMENTAIRE
DU
CONSEIL DE L'EUROPE

23 septembre 1987 **Doc. 5751**

AVIS

sur les accidents nucléaires[1]

présenté par la commission de la science et de la technologie[2]
(Rapporteur : M. de BEER)

La commission de la science et de la technologie avait l'intention de contribuer au débat de l'Assemblée sur les accidents nucléaires par un rapport sur «la sûreté nucléaire et l'avenir de l'industrie nucléaire civile» et avait chargé son rapporteur sur l'énergie nucléaire, M. Miller, de préparer un tel rapport. Ceci a été fait et le rapport de M. Miller a été adopté par la commission le 6 mai 1987. Ultérieurement la Commission Permanente a décidé au cours de sa réunion du 1er juillet 1987 que la commission de la science et de la technologie devait présenter, non pas un rapport, mais un avis sur le rapport de base de la commission des questions sociales et de la santé. En conséquence la commission de la science et de la technologie a décidé de présenter son rapport adopté préalablement sous forme d'avis pour le débat.

Quelques Etats membres ne veulent pas d'énergie nucléaire. D'autres Etats membres au contraire ont décidé de continuer avec l'énergie nucléaire. La commission de la science et de la technologie estime donc que l'Assemblée parlementaire ne devrait pas s'engager dans un débat pour ou contre l'énergie nucléaire. D'après ce point de vue des recommandations demandant, par exemple, d'accepter un moratoire pour de nouvelles constructions ou de fermer des centrales existantes ne seraient pas opportunes; il ne serait pas non plus souhaitable de présenter des opinions qui pourraient monter l'opinion publique contre l'énergie nucléaire.

Dans son rapport, la commission de la science et de la technologie s'est particulièrement intéressée à la question: «Quelles mesures pratiques pourraient être suggérées pour rendre l'énergie nucléaire plus sûre?». Plusieurs de ces mesures, suggérées par des experts, sont présentées ci-après comme amendements aux projets de recommandation et de résolution de la commission des questions sociales et de la santé.

1. Voir Directive nº 429 (1986); et Doc. 5764 (rapport de la commission des questions sociales et de la santé).

2. *a.* Approuvé par la commission le 2 septembre 1987.
b. Voir 16e et 17e séances, 7 octobre 1987.

1. Introduction

Nuclear industry is present in 26 countries around the world. With 388 reactors in operation, it accounts for 15 % of world electricity production. During 1986, 15 new reactors were connected to the grid thus increasing by 6 % nuclear power capacity to a total of 263 293 MWe. By the end of 1986, 144 other reactors were under construction representing another 50 % increase in capacity (128 871 MWe). IAEA estimates of future nuclear electricity-generating capacity show increases of up to 414 000 MWe by 1995 and 505 000 MWe by the year 2000.

Five years after the accident at Three Mile Island, the public confidence in nuclear power had significantly increased. With more than four thousand years' reactor-operating experience without a single major accident, nuclear industry could be considered one of the safest modern industrial activities, and countries like Holland and Finland were planning to build new nuclear plants.

Today, after Chernobyl, the situation is quite different. The accident in Chernobyl-4 was almost a "worst case" in terms of the risks of nuclear energy. Large amounts of the radioactive materials in the reactor core were released into the surrounding environment, much of it being carried away by air currents and widely dispersed with most remaining in the Soviet Union. 31 members of the plant-operating personnel and the response teams have died, 200 others were hospitalised with symptoms of acute radiation syndrome and some 135 000 people had to be evacuated from the zone within 30 km of the plant.

The accident has affected the confidence of citizens, organisations and governments in nuclear power. In most countries, discussions are taking place about nuclear risks and alternatives to nuclear power.

The Chernobyl accident was undoubtedly the most important man-made accident that has ever occurred, because of its effect upon public perception. It does not matter in the short run whether or not public fears are fully justified or are overestimated: their political importance should not be underestimated. It remains however vital in the long run that major decisions should be based on accurate assessments of actual dangers rather than on quantitatively unsupported and exaggerated, and perhaps temporary, fears, however many people are affected.

However, it is difficult to compare the risks to society involved in the different energy-production systems and in other activities.

1. Introduction

L'industrie nucléaire existe dans 26 pays de la planète. Avec 388 réacteurs en service, elle produit 15 % de l'électricité mondiale. En 1986, 15 nouveaux réacteurs étaient reliés au réseau, accroissant ainsi de 6 % la capacité de l'énergie nucléaire, qui atteignait un total de 263 293 MWe. Fin 1986, 144 autres réacteurs étaient en construction, ce qui représentait encore 50 % d'accroissement de capacité (128 871 MWe). Les estimations, par l'AIEA, de la future capacité de production d'électricité nucléaire annoncent des accroissements allant jusqu'à 414 000 MWe en 1995, et 505 000 MWe en l'an 2000.

Cinq ans après l'accident de Three Mile Island, la confiance du public dans l'énergie nucléaire s'était sensiblement accrue. Avec plus de quatre mille années d'expérience de fonctionnement des réacteurs sans incident majeur, l'industrie nucléaire pouvait être considérée comme l'une des activités industrielles modernes les plus sûres, et des Etats comme les Pays-Bas et la Finlande envisageaient la construction de nouvelles centrales nucléaires.

Aujourd'hui, après Tchernobyl, la situation s'est beaucoup modifiée. L'accident du réacteur nº 4 était presqu'un «cas limite» dans la hiérarchie des risques de l'énergie atomique. D'importantes quantités de matière radioactive du cœur du réacteur furent libérées dans les milieux environnants, une bonne partie étant transportée par des courants atmosphériques et largement dispersée, surtout en Union Soviétique. 31 membres du personnel d'exploitation de la centrale et des équipes de secours perdirent la vie, 200 autres étant hospitalisés avec des symptômes de rayonnement aigus, tandis qu'environ 135 000 personnes durent être évacuées dans un rayon de 30 km.

Le sinistre a naturellement ébranlé la confiance des citoyens, des associations et des gouvernements dans l'énergie nucléaire. Dans la plupart des pays, on organise des colloques sur les risques du nucléaire et sur ce qui pourrait le remplacer.

La catastrophe de Tchernobyl a été sans aucun doute le plus important accident d'origine humaine, si l'on considère les craintes qu'il a inspirées à des centaines de millions de personnes. Peu importe, dans le court terme, si ces craintes sont pleinement justifiées ou sont exagérées: elles prennent une importance politique énorme. Il reste cependant essentiel, pour le long terme, que les décisions majeures se fondent sur des estimations précises du danger plutôt que sur des craintes excessives et non quantitativement motivées, et peut-être d'ailleurs temporaires, quel que soit le nombre de personnes en cause.

Cependant, dans plusieurs cas, il est difficile de comparer les risques, pour la société intéressée, des différents systèmes de production d'énergie, et d'autres activités.

For instance, 20 000 persons died in a dam burst the same week as the accident at Three Mile Island happened. In 1984, at least 2 500 people died in an accident at a chemical factory near Bhopal.

Nobody today demands that chemical factories or hydro power stations should be closed.

In most countries, the consumption of electricity has increased year by year. This trend will continue, but perhaps not with the same intensity, and new plants must be constructed.

The only real alternative to nuclear electricity is coal, as oil and gas are too valuable to burn and the renewable sources like solar, wind or tidal will not represent more than 1 to 2 % of overall energy requirements in ten or twenty years' time.

The consequences of fossil-fired plants are well known: carbon dioxide releases and the "greenhouse effect", acid rain, chemical pollution, etc., whereas scientists around the world assure us that those of nuclear power plants are, under normal operations, almost negligible. Nevertheless, public opinion does not share this view and real concern about the nuclear industry exists in almost every European country. This concern is probably related to a perceived connection between nuclear power and nuclear weapons together with the imperceptibility of ionising radiation to the senses.

The way to obtain acceptance for nuclear is to prove that nuclear power is a safe and economical way to produce heat and electricity.

This should be done technically by measures to avoid accidents, to mitigate consequences and to learn from experience not only the bad practices but also all the good ones.

It is possible to design new safe nuclear power stations considering the activities, regulations and knowledge mentioned above. There are also some quite new ways of thinking in the safety area, like for instance the ASEA-Atom's so-called "SECURE-P" or "PIUS-reactor" (process inherent ultimate safety) and a new high-temperature reactor (HTR) developed in the Federal Republic of Germany.

More attention should be focused on old nuclear power stations because of higher probability for components in the wear-out period in combinations with safety systems based on incomplete safety requirements.

Par exemple, 20 000 personnes ont péri à la suite d'une rupture de barrage au cours de la semaine même où se produisait l'accident de Three Mile Island-2. En 1984, au moins 2 500 personnes perdirent la vie dans un sinistre survenu à une usine chimique située près de Bhopal.

Or, nul ne prétend aujourd'hui que les usines chimiques ou les centrales hydro-électriques doivent être supprimées.

Dans la plupart des pays, la consommation d'électricité s'accroît d'année en année. Cette tendance se poursuivra, mais peut-être pas au même rythme, et l'on ne pourra se passer d'installations nouvelles.

L'unique solution de rechange pour le nucléaire est le charbon, le pétrole et le gaz étant trop chers pour le remplacer, et les sources renouvelables, comme l'énergie solaire, éolienne ou maréale, ne peuvent satisfaire à plus de 1 à 2 % de la masse des besoins dans dix ou vingt ans.

Les effets négatifs des usines à combustible fossile sont bien connus: les émanations d'anhydride carbonique et l'«effet de serre», les pluies acides, la pollution chimique, etc., tandis que des savants, dans le monde entier, assurent que ceux des centrales nucléaires sont, dans des conditions de fonctionnement normal, à peu près négligeables. L'opinion publique ne partage cependant pas ce sentiment, et une réelle inquiétude vis-à-vis de l'industrie nucléaire se manifeste dans presque tous les pays européens. Cette inquiétude est probablement liée au rapport qu'on établit entre énergie nucléaire et armes nucléaires, et au fait que les rayonnements ionisants ne sont pas perçus par les sens.

Pour faire accepter l'énergie nucléaire, il faut démontrer qu'elle est un moyen sûr et économique de produire chaleur et électricité.

Techniquement, on doit le faire par des activités tendant à éviter les accidents et perturbations, à en atténuer les conséquences, et apprendre de l'expérience non seulement quelles sont les mauvaises pratiques, mais aussi les bonnes.

Il est possible de concevoir de nouvelles centrales nucléaires sûres, si l'on tient compte des activités, réglementations et connaissances précitées. Il existe en outre de toutes nouvelles façons de concevoir la sécurité, comme, par exemple, dans l'*ASEA-Atom*, qu'on appelle «SECURE-p» ou «réacteur-PIUS» (*process inherent ultimate safety* — sécurité maximale inhérente au processus), ou un nouveau réacteur à haute température (RHT) créé en République Fédérale d'Allemagne.

On doit accorder plus d'attention aux anciennes centrales nucléaires, en raison d'une plus grande probabilité d'usure et du fait que leur système de sécurité ne répond pas à toutes les exigences actuelles.

Therefore, it is important continuously to improve safety in nuclear power plants by, for instance, using PRA-methods (probabilistic risk assessment).

2. Nuclear power and other energy sources

Many risk studies have been done in the nuclear field but fewer for other energy-production systems.

Alternatives to nuclear power could be coal, natural gas, hydro, oil, solar, wind, tidal and biomass.

A complete risk study should involve not only the risks during the operating period but also risks due to extractions of raw materials, construction and decommissioning.

One of the few studies dealing with the total risk of overall energy cycles presents calculations of different kinds of risks, such as direct risks (related to extraction, fabrication, transport, construction, operation) and indirect risks (emissions, natural disasters). This has been done by studying many international reports (78 references) like the Birkhoffer and Rasmussen study for nuclear power, or that of Goubet for dam bursts, etc.

Risks from different energy systems have been calculated in man days lost (MDL)/MWe/year.

The results from the study showed that energy systems based on coal and oil have the largest overall risk with 1 000-2 000 MDL/MWe/year. Solar, nuclear, hydro and wind create approximately 50 MDL/MWe/year. Finally, natural gas creates 10 MDL/MWe/year.

This report should not be used for any detailed conclusions, due to uncertainties in the assumptions. Certain risks such as ecological risks, long-term effects, mutagenic risks are not quantified in the study.

Another important parameter is of course the economy related to the different ways of producing electricity.

In Europe today the cost of producing one kWh is about the same for coal, natural gas and oil. Windpower is much more expensive, nearly double and nuclear power (new plants) is 30 % less expensive. Hydro power is the most economical with half the cost of coal, natural gas and oil.

Alternatives have been discussed for many years and especially the need to reduce

Il importe donc d'améliorer toujours la sécurité des centrales nucléaires, par exemple, par des méthodes d'appréciation probabiliste du risque.

2. Energie nucléaire et autres sources d'énergie

On a réalisé de nombreuses études des risques dans le domaine nucléaire, mais très peu pour les autres sources d'énergie.

Ces autres sources sont le charbon, le gaz naturel, la puissance hydraulique, le pétrole, le rayonnement solaire, le vent, la marée et la biomasse.

Une étude complète des risques doit couvrir non seulement les risques de fonctionnement, mais aussi les risques que comportent l'extraction des matières premières, la construction et le démantèlement.

Une des rares études traitant des risques de tous les cycles énergétiques présente des calculs sur les différents types de risques, tels que les risques directs (liés à l'extraction, à la fabrication, au transport, à la construction, à l'exploitation) et les risques indirects (émanations, désastres naturels). On y a procédé en étudiant de nombreux rapports internationaux (soixante-dix-huit titres en bibliographie), comme l'étude de Birkhoffer et Rasmussen pour l'énergie nucléaire, celle de Goubet pour les ruptures de barrage, etc.

Les risques des divers systèmes énergétiques ont été calculés en journées-hommes perdues (JHP)/MWe/année.

Les résultats de l'étude ont montré que les systèmes énergétiques fondés sur le charbon et le pétrole présentent les plus grands risques généraux, avec 1 000-2 000 JHP/MWe/année. Le solaire, le nucléaire, l'hydraulique et l'éolien créent approximativement 50 JHP/MWe/année. Enfin, le gaz naturel accuse 10 JHP/MWe/année.

On ne doit pas utiliser ce rapport pour énoncer des conclusions précises, car il subsiste des incertitudes dans les hypothèses. Certains risques, tels les risques écologiques, les effets à long terme, les risques mutagéniques ne sont pas quantifiés dans l'étude.

Un autre paramètre important est, bien entendu, le caractère économique des divers modes de production d'électricité.

En Europe, le coût de production d'un kWh est aujourd'hui environ le même pour le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Le coût de l'énergie éolienne est beaucoup plus élevé — près du double, et le nucléaire (nouvelles installations) est de 30 % inférieur. L'hydro-électrique est le plus économique, représentant la moitié du coût du charbon, du gaz naturel et du pétrole.

On se préoccupe depuis longtemps de la dépendance que créent les modes de production

dependence on oil. Wind and hydro power create no dependence at all. This does not apply to coal and natural gas. The latter is often transported by pipes through different countries. A network of pipes and a number of competing vendors of natural gas will reduce the risk of dependence. Natural gas by boat (LNG) is an alternative but a very expensive one.

It is difficult to evaluate all the technical, economic and environmental parameters at the same time. There are other factors to take into consideration.

The political situation from time to time can have a great impact on the decision process.

In Sweden, the result of a referendum was that the nuclear power period should be ended by the year 2010. Today, the discussion is that the beginning of the phase-out should perhaps be before the year 2000.

France has decided to proceed in the opposite direction and increase the rate of nuclear power. Its plan is to start up a new nuclear power plant every year.

Other countries are in between and show more uncertainty with regard to the future.

As a summary of this chapter, one has to admit that it is quite difficult to bring together and evaluate all the advantages/disadvantages of the different systems used to produce electricity. But, if the political decisions are excluded, the conclusion might be that nuclear power, natural gas and hydro power will be the best ways to produce electricity.

However, local conditions could be such that natural gas and hydro power are impossible to realise. Nuclear power is an alternative because power plants can be built anywhere.

3. Accidents in nuclear power stations and lessons to be drawn therefrom

The two most serious accidents in nuclear power plants were those at Chernobyl-4 and Three Mile Island-2. A summary of the accidents is given below.

Chernobyl-4

Unit 4 of the Chernobyl nuclear power station, with an operating power of 1 000 MWe and 3 200 MWt, was one of the fifteen RBMK-

de l'énergie, avec le souci notamment de réduire la dépendance liée au pétrole. L'énergie éolienne ou hydraulique ne crée aucune dépendance. Pour ce qui est du charbon et du gaz naturel, on n'a pas jusqu'ici envisagé la dépendance de la même manière. Le gaz naturel est souvent transporté par des conduites à travers différents pays. Là où la chose est possible, un réseau de gazoducs et une multiplicité de fournisseurs de gaz naturel sont de nature à réduire le risque de dépendance. Une autre solution — mais très coûteuse — est le transport du gaz naturel par navires.

Bien qu'il soit déjà très difficile d'apprécier en même temps tous les paramètres techniques, économiques et mésologiques, il y a encore d'autres facteurs à prendre en considération.

La situation politique peut quelquefois exercer une grande influence sur le processus de décision.

En Suède, un référendum donnait à entendre que la période de l'énergie nucléaire devrait se terminer en l'an 2010. On tend aujourd'hui à penser que son élimination progressive devrait commencer avant l'an 2000.

La France a décidé d'aller dans la direction inverse et d'accroître la place relative de l'énergie nucléaire. On y projette de mettre en chantier une nouvelle centrale nucléaire chaque année.

D'autres pays ont une position intermédiaire et accusent moins de certitude vis-à-vis de l'avenir.

Pour résumer ce chapitre, rappelons qu'il est très difficile de discerner et d'apprécier tous les avantages et les inconvénients des divers systèmes de production d'électricité. Mais, si l'on exclut les décisions politiques, on peut conclure que le nucléaire, le gaz naturel et la puissance hydraulique constituent les meilleures manières de produire l'électricité.

Néanmoins, les conditions locales peuvent être telles que le gaz naturel et l'hydraulique ne peuvent être employés. En ce cas, l'énergie nucléaire constitue une solution de rechange, car elle permet la construction de centrales en quelque lieu que ce soit.

3. Les accidents dans les centrales nucléaires et les leçons à en tirer

Les deux plus sérieux accidents à être survenus dans des centrales nucléaires ont été ceux de Tchernobyl-4 et de Three Mile Island-2. Ils seront sommairement relatés ci-dessous.

Tchernobyl-4

Le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, avec une puissance d'exploitation de 1 000 MWe et de 3 200 MWt, était l'un des

type reactors in operation in the Soviet Union. The RBMK is a graphite moderated-pressure type reactor. One of its particular design characteristics, the positive power coefficient at low power levels, makes it unsafe and difficult to control below approximately 20 % of full power.

The accident happened during a test being carried out on a turbogenerator at the time of a shutdown of the reactor for normal planned maintenance. The test should show the ability of a turbogenerator, during station blackout, to supply electrical energy for a short period until the standby diesel generators could supply emergency power.

On 25 April 1986, the operators started to reduce the power level. Late in the evening, a mistake by the operator, when transferring unit power control from the local to the global regulating system, led to a rapid decrease of the power. By manually withdrawing the control rods the power level increased to 6 %. Although the operation of the reactor below 22 % of full power (700 MWt) is restricted, the operator decided to continue the test programme. To allow a repeat of the test, if needed, the reactor trip was switched off. This was another violation of the safety rules.

At 1.23 a.m. on 26 April, the operator closed the emergency stop valve to the turbine. Thirty-five seconds later, he noticed a rapidly increasing power and manually initiated reactor scram. However, the rods could not be inserted fast enough to prevent a power excursion. The power may have reached hundred times full power in a few seconds. This was possible due to the positive void-coefficient. Energy released in the fuel by the power excursion suddenly ruptured part of the fuel into minute pieces which caused a steam explosion.

The energy release shifted the 1 000-tonne reactor cover plate and resulted in all cooling channels on both sides of the reactor cover being cut. Two or three seconds later, a second explosion occurred and pieces of the reactor core were ejected high into the air. Burning material caused local fires at several places in the plant. The fires were fought and put out at 5 a.m. Noble gases are thought to have been completely expelled from the fuel. About 10 to 20 % of the volatile radionuclides, iodine, caesium and tellurium were expelled from the core. Releases of the more refractory radionuclides, barium, strontium, plutonium, etc. amounted to 3 to 6 %.

On 27 April, boron, sand, clay and lead were dumped into the core. Later on, cooling of

quinze réacteurs de type RBMK mis en fonctionnement en Union Soviétique. Le RBMK est un réacteur à pression modérée au graphite. L'une des principales caractéristiques de sa conception, le coefficient de puissance positive à bas régime, le rend dangereux et difficile à maîtriser en deçà de quelque 20 % de sa puissance totale.

L'accident s'est produit pendant une expérience sur un turbo-alternateur au moment de l'arrêt du réacteur pour l'entretien normal. L'expérience devait montrer que le turbo alternateur était en mesure, au cours de l'arrêt du réacteur, de fournir l'énergie électrique pendant une brève période, jusqu'à ce que les génératrices diesel de secours puissent assurer le courant de rechange.

Le 25 avril 1986, les opérateurs ont commencé à réduire le niveau de puissance. Tard dans la soirée, une erreur de l'opérateur dans le transfert des commandes du réacteur de la régulation locale au système de régulation globale entraîna une rapide décroissance de la puissance. Par retrait manuel des barres de commande, le niveau de puissance augmenta à 6 %. Bien qu'il soit interdit de faire fonctionner le réacteur au-dessous de 22 % de sa puissance (700 MWt), l'opérateur décida de poursuivre le programme de l'expérience. Pour permettre une répétition de l'expérience, au besoin, le système d'arrêt automatique du réacteur fut débranché. C'était une deuxième transgression des règles de sécurité.

A 1 h 23, le 26 avril, l'opérateur ferma la valve d'arrêt de sûreté de la turbine. Trente-cinq secondes plus tard, il constata un rapide accroissement de la puissance et provoqua manuellement l'arrêt du réacteur. Mais les barres de commande ne pouvaient être introduites assez vite pour empêcher une excursion de la puissance. Celle-ci a pu atteindre une centaine de fois la puissance maximale en quelques secondes, ce qui était rendu possible par un coefficient de vide positif. L'énergie libérée dans le combustible par l'excursion de puissance provoqua un fractionnement soudain d'une partie du combustible en menus morceaux, ce qui entraîna une explosion de vapeur.

Celle-ci déplaça les mille tonnes du couvercle du réacteur, ce qui eut pour effet de couper toutes les canalisations de refroidissement des deux côtés du couvercle. Deux ou trois secondes plus tard, une deuxième explosion éjecta en l'air une partie du cœur du réacteur. Des matériaux enflammés allumèrent des incendies en plusieurs points de la centrale. On avait réussi à les éteindre à 5 heures du matin. On pense que les gaz rares ont été complètement expulsés du combustible. Quelque 10 à 20 % des radionucléides volatils d'iode, de césium et de tellure ont été également expulsés du cœur. Les libérations de radionucléides plus réfractaires, de baryum, de strontium et de plutonium, représentaient quelque 3 à 6 %.

Le 27 avril, on déchargea sur le cœur du bore, du sable, de l'argile et du plomb. On procéda

the core with nitrogen was established. Today, the reactor is covered with concrete.

Three Mile Island-2

The accident began about 4 a.m., 28 March 1979, by a loss of normal feedwater to the steam generators resulting in a turbine trip and reactor scram. In response, to relieve a temporary over-pressure, the relief valve on the pressuriser opened. Ten seconds later, when the pressure was reduced sufficiently, the valve should have closed, but instead it remained open. This resulted in the loss of vapourised reactor coolant through the relief valve.

At about two minutes into the accident, the safety high-pressure injection system automatically started delivering water to the reactor coolant system. However, the operator reduced the injection flow two minutes later in response to indications of high coolant level in the pressuriser.

During the following two and a half hours, the injection of water to the reactor-coolant system was less than the loss of coolant through the erroneously opened relief valve. This resulted in the core becoming uncovered. At about 6.30 a.m., the operator closed a block valve, which is in series with the relief valve. This stopped the loss of reactor coolant.

The core remained uncovered until at least three hours twenty minutes into the event, when full high-pressure injection flow was automatically initiated. From this time on, the water level in the reactor started to increase and about sixteen hours after the initiation of the accident the cooling of the reactor was in a stable condition. Radioactive gases, mainly noble gases and iodine, were released from the core due to insufficient cooling. Most of the radioactivity was kept inside the containment and only a small amount was released to the environment. The maximum dose to the public is estimated to be 0,7 mSv, giving as a maximum a one-in-three chance of causing one extra death from cancer. This could easily have been ten times worse, but the pressure in the steel reactor vessel never rose beyond the tested level; and a coincidental bursting of this, together with the destruction of the containment building, would have been needed to produce a disaster of the Chernobyl magnitude.

After Chernobyl, the Soviets stated their intention to go on with their nuclear plan, and the main reasons for this were as follows:

par la suite au refroidissement du cœur par de l'azote. Aujourd'hui, le réacteur est recouvert de béton.

Three Mile Island-2

L'accident a commencé à environ 4 heures du matin, le 28 mars 1979, par une perte de l'alimentation normale en eau des génératrices à vapeur, qui se traduisit par une panne de la turbine et un arrêt brusque du réacteur. Jouant son rôle pour l'allègement d'une surpression temporaire, la soupape du pressuriseur s'ouvrit. Dix secondes plus tard, lorsque la pression fut suffisamment réduite, la soupape, qui aurait dû se fermer, resta ouverte, laissant échapper le refroidisseur vaporisé du réacteur.

Environ deux minutes après le début de l'accident, le système de sécurité d'injection à haute pression commença automatiquement à fournir de l'eau au système de refroidissement du réacteur. Mais l'opérateur réduisit le flux d'injection deux minutes plus tard, pour tenir compte d'indications de haut niveau de liquide de refroidissement dans le pressuriseur.

Pendant deux heures et demie, l'apport d'eau au système de refroidissement ne compensa pas la perte due à l'ouverture anormale de la soupape. Il s'ensuivit que le cœur du réacteur fut à découvert. A environ 6 h 30 du matin, l'opérateur ferma une valve de blocage, montée en série avec la soupape, ce qui permit d'arrêter la perte de liquide de refroidissement.

Le cœur demeura à découvert jusqu'au moins trois heures et vingt minutes après le début, lorsque se mit en route automatiquement une injection à haute pression. Le niveau d'eau se mit alors à s'élever dans le réacteur, et environ seize heures après le début de l'accident, le refroidissement du réacteur avait retrouvé la stabilité. Des gaz radioactifs, principalement des gaz rares et de l'iode, furent libérés du cœur en raison de l'insuffisance de refroidissement. La plus grande partie de la radioactivité resta à l'intérieur de l'enceinte de confinement, une petite quantité seulement étant libérée vers l'extérieur. On estime que la dose maximale parvenue à des éléments de la population a été de 0,7 mSv, ce qui correspondrait à un maximum d'une chance sur trois de provoquer un décès supplémentaire par cancer. La dose aurait pu aisément être dix fois supérieure, mais la pression dans l'enceinte d'acier du réacteur ne s'éleva à aucun moment au-dessus du niveau pour lequel elle avait été testée; et il aurait fallu un éclatement simultané de l'enceinte, avec destruction du bâtiment de confinement, pour produire un désastre de l'ampleur de Tchernobyl.

Après Tchernobyl, les Soviétiques ont exprimé leur intention de poursuivre leurs projets nucléaires, pour les principales raisons suivantes:

— the causes of the accident — human error — were not specific to the nuclear industry;

— no physical phenomena had been identified that had not been studied beforehand;

— the large damage it had caused was comparable with other catastrophes;

— if nuclear power were to be replaced, the risks would increase by one order of magnitude;

— the reasons for developing the nuclear industry in the USSR were still valid and would increase in the future.

Nevertheless, half of the working RBMK reactors have already been shut down for physical modifications to preclude this pattern of behaviour, and further changes planned should make it impossible for the reactor to operate without waiting for the delayed neutrons produced by fission. No European power reactors outside the USSR show the rise in activity along with a rise in output which caused the disaster at Chernobyl.

In a narrow sense, the Soviet disaster makes no difference at all to our estimates of risk in other reactors in Western Europe, since our present risk studies have been made on the basis of the detailed properties of quite different types of reactor. The accident at Three Mile Island remains the only potentially serious accident that has so far occurred in such reactors.

Apart from the elimination of the specific faults at Three Mile Island and at other reactors, there is a further general reduction of risk due to a general re-examination of safety and maintenance procedures, which in all human operations become less thorough and effective after long periods free of accident. Whatever the risks have been in our reactors, they will be smaller now.

In a broader sense, however, an opportunity now exists for safety experts to learn from this tragic event in order greatly to improve our understanding of nuclear safety.

The automatic protection system for the RBMK reactors was designed many years ago, and more confidence was placed at that time in proper operator action than in automatic safety circuits, assumed to be less reliable. RBMK designers have added many safety improvements in past years as a result of operating experience and the review of accidents such as Three Mile Island. Nevertheless, heavy reliance on proper operator action still remained.

— les causes de l'accident — erreurs humaines — ne sont pas spécifiques de l'industrie nucléaire;

— on n'a constaté aucun phénomène physique qui n'eût pas été étudié préalablement;

— les importants dommages causés par l'accident étaient comparables à ceux d'autres catastrophes;

— si le nucléaire était remplacé par autre chose, les risques seraient décuplés;

— les raisons de développer l'industrie nucléaire en URSS sont toujours valides et le seront davantage à l'avenir.

Nonobstant, la moitié des réacteurs RBMK en service ont déjà été immobilisés en vue de modifications destinées à prévenir ce type de comportement, et d'autres changements prévus devraient rendre impossible pour le réacteur de fonctionner sans attendre les neutrons retardés produits par la fission. Aucun réacteur européen en dehors de l'URSS n'accuse une augmentation d'activité parallèle à l'augmentation de production, qui a causé le désastre de Tchernobyl.

Au sens étroit, la catastrophe soviétique ne change en rien nos estimations du risque pour les réacteurs d'Europe occidentale, car nos actuelles études de risques ont été effectuées sur la base des propriétés de types très différents de machines. L'accident de Three Mile Island demeure la seule affaire potentiellement sérieuse qui se soit produite dans nos réacteurs.

En plus de l'élimination des erreurs commises à Three Mile Island et dans d'autres centrales, nous assistons à une réduction générale des risques en raison du réexamen des procédures de sécurité et d'entretien qui, dans toutes les entreprises humaines, tendent à devenir moins complètes et moins efficaces après de longues périodes sans accident. Quels qu'aient été les risques dans nos réacteurs, ils seront moindres à l'avenir.

Dans un sens plus large, cependant, il existe aujourd'hui une possibilité, pour les experts en sécurité, de tirer une leçon de cet événement tragique, afin d'améliorer sensiblement notre compréhension de la sécurité nucléaire.

Le système de protection automatique des réacteurs RBMK a été conçu il y a plusieurs années, alors que l'on faisait davantage confiance à l'intervention correcte de l'opérateur qu'aux circuits automatiques de sécurité, que l'on jugeait moins fiables. Les concepteurs du RBMK l'ont doté de plusieurs améliorations de la sécurité, depuis quelques années, par suite de l'expérience acquise et de l'étude d'accidents tels que celui de Three Mile Island. Mais on continuait toujours à se fier largement à une intervention appropriée de l'opérateur.

The multiple-barrier principle and the defence in depth concept are important elements in nuclear reactor safety philosophy. In this philosophy, for any component failure at least two barriers must remain to protect the environment from the accidental release of radioactive materials from the reactor core; it is the task of safety-system designers to ensure in general the functional independence of each of the different barriers in the event of an accident. Within the defence in depth concept, in modern reactors manual actions of operators are overruled by the automatic safety system when the safety of the plant is seriously threatened.

The effectiveness of the barrier concept to prevent high releases of fission products after an accident has been proven in several cases, including the Three Mile Island accident. The barrier concept in particular has to be enhanced by inherently safe characteristics of nuclear power plant design. In the reactor design, reactivity transients leading to fast power surges have to be terminated immediately and automatically by independent, diverse and testable shutdown mechanisms before severe damage occurs to any reactor system. This stems from the fact that a fast power surge, as happened at the Chernobyl plant, can endanger all the barriers designed to prevent large releases of fission products after an accident.

4. Improving nuclear safety

The principal goal of reactor safety is to keep the radiation exposure to the public and the site personnel within prescribed limits. This can be done by designing, constructing and operating the power plant in a way that the likelihood of radioactive releases is minimised.

Each nuclear power plant should be designed and constructed to withstand different abnormal events, internal and external. Internal events are breaks in the primary system and transients, for example blackout. External events are for example earthquakes. By performing a PRA-study (probabilistic risk assessment) of the plant before it is constructed, abnormal events can be identified and the plant constructed to withstand the events that contribute most to the public risk. The/those event/s that is/are the worst and will set the design limits are called the "design basis accident" (DBA).

Each plant must be equipped with several safety systems to be able to handle different abnor-

Le principe des barrières multiples et le concept de la défense en profondeur sont d'importants éléments dans la théorie de la sécurité des réacteurs nucléaires. Selon celle-ci, en cas de défaillance d'un élément quelconque, il doit subsister au moins deux barrières pour protéger l'environnement de l'émission accidentelle de matières radioactives du cœur du réacteur. Il appartient aux concepteurs de systèmes de sécurité d'assurer, de manière générale, l'indépendance fonctionnelle de chacune des barrières en cas d'accident. Selon le concept de la défense en profondeur, dans les réacteurs modernes, les systèmes de sécurité automatique prennent le pas sur les gestes manuels des opérateurs lorsque la sécurité de la centrale est sérieusement menacée.

L'efficacité du concept des barrières pour la prévention de fortes émissions de produits de fission à l'occasion d'un accident a été démontrée dans plusieurs cas, y compris lors de l'accident de Three Mile Island. Ce système des barrières, en particulier, doit être renforcé par des caractéristiques de sécurité inhérentes à la conception même de la centrale nucléaire. L'agencement de l'installation doit être tel que les sursauts de réactivité entraînant de rapides montées de puissance soient corrigés immédiatement et automatiquement par des mécanismes indépendants d'immobilisation, multiples et éprouvables, avant qu'aucun dommage grave ne se produise dans un système de réacteur. Car un emballement comme celui qui s'est produit à la centrale de Tchernobyl peut mettre en péril toutes les barrières destinées à prévenir de fortes émanations de produits de fission à la suite d'un accident.

4. Amélioration de la sûreté nucléaire

L'objectif principal de la sûreté en matière de réacteurs est de maintenir dans les limites prescrites l'exposition du public et du personnel des centrales au rayonnement. On peut y parvenir en concevant, en construisant et en exploitant les centrales de manière à réduire au minimum la probabilité d'émanations radioactives.

Toute centrale nucléaire doit être conçue et construite de manière à résister à diverses conditions anormales, qu'elles soient internes ou externes. A l'intérieur peuvent se produire des ruptures du système primaire et des sursauts qui peuvent s'accompagner, par exemple, de pannes de courant. Les événements extérieurs peuvent comprendre, par exemple, les tremblements de terre. Si l'on procède à une appréciation probabiliste des risques (APR) avant l'édification de la centrale, on peut prévoir les conditions anormales et construire l'installation de manière qu'elle résiste aux événements comportant le plus de risques pour la population. Les événements considérés comme les plus graves et imposant des limites à la conception sont appelés «accidents commandant la conception» (ACC).

Chaque centrale doit être équipée de plusieurs systèmes de sécurité qui lui permettent de

mal events. The three most important safety functions during an accident are:

— safe shutdown of the reactor;

— cooling of the residual heat from the fuel;

— preventing radioactive releases.

Examples of safety systems needed to fulfil these functions are: control rod scram system, emergency cooling and containment.

When designing a safety system, different design methods can be used to achieve the desired availability.

Redundancy means that the system can perform its function even if any single failure in the system occurs. The reliability of some systems can be enhanced by using the principle of diversity to reduce the potential for common cause failures. Diversity is applied to a system by using a different principle of operation. Moreover, physical separation between systems and components is another way of reducing common cause failures and increases the reliability of a system. Finally, a component can be constructed always to pass into a safe state if the component fails ("fail" to "safe").

In an accident, the operators are the main participants and in this role they need support. To be able to carry out their tasks, they need good and correct information about the process from the control room instrumentation.

The control room should therefore be designed in an ergonomically appropriate way, where safety functions are easy to localise. In an abnormal event, many things will happen initially. A well-known fact is that the probability of human error is higher under stress conditions.

To reduce the stress conditions on the operators, all needed safety functions should be initiated automatically and then be able to keep the situation under control during an initial specified time, for example thirty minutes. During this time no operator action is needed. However, if the operators want to take action, this is permitted. Another operator support is emergency operating procedures (EOPs). These should be helpful to diagnose the accident and to take appropriate action.

The primary aim of all work in the nuclear safety field is to prevent accidents. However, reactors should be constructed in such a way that the likelihood of radioactive releases is minimised in the event of an accident.

faire face à différentes conditions anormales. Les trois plus importantes fonctions de sécurité, en cas d'accident, sont:

— la sûreté de l'arrêt du réacteur;

— le refroidissement du combustible;

— la prévention des émanations radioactives.

Des exemples des systèmes de sécurité dont on a besoin pour remplir ces fonctions sont: un système d'arrêt par barres de commande, un dispositif de refroidissement d'urgence, et un bloc de confinement.

On peut recourir à différentes méthodes de conception du système de sécurité.

Redondance signifie que le système peut remplir ses fonctions quelle que soit la défaillance qui s'y manifeste. La fiabilité de certains systèmes peut être accrue par la mise en œuvre du principe de diversité, qui diminue les possibilités de défaillances dues à des causes communes. On réalise la diversité en recourant à des principes de fonctionnement différents. D'autre part, une séparation physique entre systèmes et composants constitue un autre moyen de réduire les défaillances ayant une cause commune et d'accroître la fiabilité du système. Enfin, un composant peut être conçu de manière à toujours assurer le passage à un état de sûreté s'il a une défaillance («défaut» à «sûreté»).

En cas d'accident, les opérateurs sont les principaux acteurs et, dans leur rôle, ils ont besoin de beaucoup d'appuis. Pour remplir leur tâche, il leur faut une information correcte, fournie par les instruments de la salle de contrôle.

Par conséquent, la conception de la salle de contrôle doit être ergonomiquement appropriée, avec des fonctions de sûreté faciles à localiser. En cas d'événement anormal, il se produira beaucoup de choses au début. Il est bien connu que la probabilité d'une erreur humaine est plus élevée dans des conditions de tension.

Pour réduire la tension qui étreint alors les opérateurs, toutes les fonctions de sécurité doivent être enclenchées automatiquement et être en mesure de maîtriser la situation pendant une période initiale précise, par exemple trente minutes. Pendant ce temps, les opérateurs n'ont pas à agir, bien qu'ils puissent le faire. Un autre élément leur vient en aide: les consignes d'urgence, qui les aident à diagnostiquer le défaut et à prendre les mesures qui s'imposent.

L'objectif principal de toute action dans le domaine de la sûreté nucléaire est de prévenir les accidents. Néanmoins, si un accident se produit, le réacteur doit être conçu de manière à réduire au minimum la possibilité d'émanations radioactives.

In addition to safe design, safe operation of the plant will prevent accidents. Safe operation of the plant can be achieved if nuclear safety issues always have first priority.

The importance of nuclear safety should be spread to all personnel through education and monitored by quality-assessment work. Management should support and stimulate work in nuclear safety. In the utility organisation an independent review of nuclear safety should take place. This can be done by having a safety and quality function at headquarters. This function should monitor the operation of the plant and review all its activities.

Each utility should have committees to review nuclear safety issues. One committee could be a local plant committee and the other a central committee, acting as adviser to the controller.

This striving to achieve excellence at all times by all personnel is the key to a high level of nuclear safety. To do this, all personnel need to have very good education and training. A training programme for management, operation and maintenance personnel should be established. Operators should be trained in simulators.

An essential element for the safe operation of a power plant is the technical specifications document. This regulates the operation and maintenance of the plant and is approved by the authorities.

In the event of an accident or incident an emergency organisation should be ready. It is vital that the emergency organisation should be thoroughly prepared and regularly trained.

It would be sensible to site future nuclear power stations far from large populations, even though this increases transmission losses. In the very unlikely, but certainly not impossible, event of a major accident, this would both reduce the number of people affected and increase the time available for warning and for decisions on action.

Existing plans for evacuation in case of accident should be systematically overhauled and nationally co-ordinated with those for chlorine and other chemical stores, liquified fuel gas depots and oil refineries. The measures needed must inevitably depend on the weather as well as the kind and scale of the accident, so it would be undesirable to give details, for example of evacuation plans. The existence of plans should however be regularly published, together with the statement that the first instruction in all cases will be to stay indoors and to shut off all fuel-burning appliances, as these suck in outside air, to close doors and windows, and listen to the radio or television for further instructions.

Outre la bonne conception de la centrale, une exploitation sûre aidera à prévenir les accidents. L'exploitation est sûre si l'on tient pour tout à fait prioritaires les questions de sûreté nucléaire.

Il faut bien faire comprendre à tout le personnel l'importance de la sûreté nucléaire, et contrôler celle-ci par un travail d'«appréciation de la qualité». La direction doit soutenir et stimuler l'activité relative à la sûreté nucléaire. L'organisation doit comprendre un contrôle indépendant de cette sûreté. On peut y pourvoir en assurant, au sein du bureau principal, une fonction de sûreté et de qualité, chargée de suivre de près l'exploitation de la centrale et d'en examiner toutes les activités.

Chaque installation doit être dotée de comités de la sûreté nucléaire. L'un d'eux pourrait être un comité local de l'installation, et un autre un comité central jouant un rôle consultatif auprès du président.

L'ambition d'atteindre une excellence constante de tout le personnel est la clé d'un haut niveau de sûreté nucléaire. Cela suppose à la fois un très bon enseignement et une très bonne formation pratique, tant pour la gestion que pour le fonctionnement et l'entretien. La formation doit faire appel à des simulateurs.

Un important document pour la sûreté d'une centrale nucléaire est le manuel des spécifications techniques contenant les consignes d'exploitation et d'entretien de la centrale, approuvées par l'autorité compétente.

En cas d'accident, on doit constituer une organisation d'urgence. Il importe alors que tout soit prêt, et cette organisation doit faire l'objet d'exercices fréquents.

Il serait sage de situer les futures centrales nucléaires loin des grandes agglomérations, bien que cela accroisse les pertes de transmission. Dans le cas très improbable, mais certainement pas impossible, d'un accident majeur, une telle implantation réduirait le nombre des personnes touchées et accroîtrait le temps disponible pour l'alerte et pour les décisions relatives aux mesures à prendre.

Les plans actuels pour l'évacuation en cas d'accident doivent être systématiquement repris et coordonnés, à l'échelle nationale, avec ceux qui existent pour les entrepôts de chlore, d'autres produits chimiques et de gaz combustible liquéfié, ainsi que pour les raffineries de pétrole. Les mesures nécessaires dépendront inévitablement de la température aussi bien que du type et de l'ampleur de l'accident, de sorte qu'il n'est pas souhaitable de donner tous les détails, par exemple, des plans d'évacuation. L'existence de plans doit néanmoins être régulièrement publiée, et l'on doit rappeler que la première précaution, dans tous les cas, consiste à demeurer à l'intérieur d'un bâtiment et à mettre à l'arrêt tous les systèmes de chauffage

There should be a review of the training and equipment of members of the fire and ambulance services for dealing with emergencies potentially leading to exposure to radiation. Practical attention should be given to the holding of adequate and regular rehearsals with the personnel who would actually carry out the work in a nuclear accident.

In each country with nuclear power plants, there must be responsible authorities to control and ensure that the nuclear power plants are operated in a safe way. This is done by regular visits by inspectors to the power plant. An open and straightforward relationship between the authorities and the utilities will enhance nuclear safety.

As in the case of chemical processes, petrochemical plants and oil refineries, which are situated in ports of entry in most Western countries, nuclear power plants and research reactors are also vulnerable to acts of sabotage and to terrorist attacks that could breach safety systems and result in releases of substantial amounts of radioactivity. In addition, with expanding civil commerce in weapon-usable forms of plutonium and uranium, and with the vast numbers of tactical nuclear weapons stored in areas of intense terrorist activity, it is also plausible that terrorists could build or steal a weapon or, even more likely, carry out a credible hoax.

As terrorist groups become more determined, more violent and more technologically advanced, the possibility of nuclear terrorism increases. The potential for nuclear terrorism should be a matter of special concern in Western Europe because of the possible interaction between a high level of "nuclearisation" in the region and a high level of terrorist activity by sophisticated groups operating across national boundaries.

What specifically should be done? There is only so much that can be achieved by means of upgrading guard forces and intensifying security checks and surveillance of employees at nuclear power plants. These plants need to be fitted with safety systems inherently capable of overcoming the effects of a successful attack or act of sabotage. Unfortunately, little has been done to develop such systems relative to the vulnerability of these plants to destructive acts.

Three types of systems are needed:

1. Physical barriers and exclusion zones sufficient to protect nuclear installations against "vehicular attack", especially truck bombs;

par combustible, qui aspirent l'air extérieur, à fermer portes et fenêtres et à écouter les instructions données par radio ou télévision.

On doit revoir également la formation et l'équipement des membres des services d'incendie et d'ambulance qui doivent intervenir dans les situations d'urgence comportant un risque de rayonnement. Il faut procéder à des exercices appropriés et réguliers pour le personnel qui sera appelé à intervenir en cas d'accident.

Dans tout pays où existent des centrales nucléaires, des autorités compétentes doivent surveiller l'exploitation des centrales et en contrôler la sûreté. Ce contrôle se fera par visites d'inspecteurs. Des rapports ouverts et francs entre autorités et installations ne pourront que servir la sûreté nucléaire.

Tout comme les usines chimiques ou pétrochimiques et les raffineries de pétrole situées dans les ports d'entrée de la plupart des pays occidentaux, les centrales nucléaires et les réacteurs de recherche sont aussi vulnérables aux actes de sabotage et de terrorisme qui, une fois neutralisés les systèmes de sécurité, peuvent se solder par la libération d'une intense radioactivité. Qui plus est, à mesure que le commerce de formes de plutonium et d'uranium utilisables à des fins militaires gagne en importance, de vastes quantités d'armes nucléaires tactiques étant d'autre part entreposées dans des régions où les terroristes déploient une grande activité, il est tout à fait possible que ces derniers parviennent à fabriquer ou à voler une telle arme ou, ce qui est encore plus plausible, à abuser de notre crédulité.

La détermination, la violence et la technicité dont font preuve les groupes de terroristes ne cessant de s'affirmer, la menace du terrorisme nucléaire se précise de plus en plus. Cette potentialité devrait préoccuper au plus haut point l'Europe occidentale en raison d'une interaction possible entre sa «nucléarisation» poussée et les activités terroristes de grande ampleur exercées par des groupes chevronnés faisant fi des frontières.

Que faire concrètement? Renforcer les détachements de garde, ainsi que les contrôles de sécurité et la surveillance du personnel des centrales nucléaires n'est pas tout. Il faut doter ces centrales de systèmes de sécurité propres à neutraliser par eux-mêmes les conséquences d'un attentat ou d'un acte de sabotage réussi. Au regard de la vulnérabilité de ces centrales, on peut considérer que la mise au point de tels systèmes n'a guère progressé.

Les systèmes nécessaires sont de trois types, à savoir:

1. Les obstacles matériels et les zones interdites propres à protéger les installations nucléaires contre les «attentats commis avec des véhicules», en particulier des camions piégés;

2. Bunkered systems for removing heat from the reactor core in the event of terrorists succeeding in bombing a plant or wayward operators taking over a control room and attempting to precipitate a melt-down;

3. Tamper-proof controls that would override deliberate attempts from the control panel and elsewhere in the plant to overcome multiple safety systems and precipitate a severe reactor accident.

5. International co-operation

Since the beginning of nuclear activities, active co-operation has been developed at international level:

— as far as radioprotection is concerned, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) periodically issues recommendations that are widely accepted and adopted by the national regulations of almost every state concerned;

— as far as the safety of nuclear installations is concerned, many useful bilateral and multilateral forms of co-operation have been developed among experts of the "nuclear countries", mainly within OECD; this co-operation takes the form of an intense and regular exchange of information about safety criteria and methods, regulations and acquired experience, mainly through the analysis of incidents; all this contributes thus to the enhancement of nuclear safety levels around the world.

Since the Three Mile Island accident in 1979, discussions on the elaboration of an international system of information and assistance have been under way. The unfortunate Chernobyl accident opened the way to finalising this project and in September 1986 the IAEA General Conference adopted two conventions: one on early notification of a nuclear accident and one on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency. The Chernobyl accident has shown — as had Three Mile Island earlier — that a nuclear accident anywhere is an accident everywhere. Governments and the industry they control have therefore global responsibility to do their utmost to avoid such disasters, by availing themselves of the best means to develop, use and regulate nuclear power.

Multilateral international co-operation can be particularly helpful to foster exchanges which enhance the scientific and technical know-how available to designers, operators and regulators and to search for a consensus on all important safety issues. This co-operation has been developed mainly within two international organisations: the United Nations International Atomic Energy

2. Les systèmes sous abri renforcé destinés à évacuer la chaleur dégagée par le cœur du réacteur au cas où des terroristes arriveraient à bombarder une centrale ou si des intrus se rendaient maîtres d'une salle de commande et essayaient d'enclencher une fusion;

3. Les commandes indéréglables, à l'épreuve des fausses manœuvres opérées délibérément à partir du panneau de commande ou d'un autre lieu de la centrale pour neutraliser les systèmes de sécurité multiples et provoquer un accident de réacteur grave.

5. Coopération internationale

Depuis le début de l'activité nucléaire, une coopération active s'est créée à l'échelon international:

— pour ce qui est de la radioprotection, la Commission internationale de protection contre les radiations (CIPR) formule périodiquement des recommandations largement acceptées et adoptées dans la réglementation de presque tous les Etats intéressés;

— pour ce qui est de la sûreté des installations nucléaires, une coopération bilatérale et multilatérale très utile existe entre experts des pays «nucléaires», en particulier au sein de l'OCDE; cette coopération se manifeste par un échange actif et régulier d'informations sur les critères et méthodes de sécurité, la réglementation et l'expérience acquise, notamment par l'analyse des incidents; elle contribue ainsi à élever les niveaux de la sûreté nucléaire à travers le monde.

Depuis l'incident de Three Mile Island, en 1979, on s'est attaché à l'élaboration d'un système international d'information et d'assistance. L'accident de Tchernobyl, qui a démontré l'opportunité d'un tel système, a été l'occasion de mettre au point le projet et, en septembre 1986, la Conférence générale de l'AIEA a adopté deux conventions: l'une sur la notification rapide des accidents nucléaires, et l'autre sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. L'affaire de Tchernobyl a aussi montré — comme l'avait fait celle de Three Mile Island — que tout accident nucléaire intéresse l'ensemble de la planète. Aussi les gouvernements et les industries qui dépendent d'eux ont-ils l'obligation générale de tout faire pour éviter de tels désastres, en recourant aux meilleurs moyens de développer, d'utiliser et de réglementer l'énergie nucléaire.

La coopération internationale multilatérale peut être particulièrement utile pour favoriser les échanges propres à augmenter le savoir-faire scientifique et technique dont disposent les concepteurs, les opérateurs et les régulateurs, et pour rechercher un consensus sur toutes les importantes questions de sûreté. Cette coopération s'est développée principalement au sein de deux orga-

Agency (IAEA) and the OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), and their main programmes are:

— the Nuclear Safety Standard programme (NUSS), which aims to establish an internationally agreed upon frame of reference for the safety of nuclear power plants;

— the International Incident Reporting System (IRS), to share international safety experience;

— the Operational Safety Review Team (OSART) programme which was created as a mechanism to advise nuclear power plant operators on enhancing plant safety.

The Chernobyl accident revealed some specific areas in which there is room for greatly improved international collaboration. For example we need to:

— strengthen our research efforts in the study of severe accidents;

— formalise a system for the rapid exchange of information and mutual assistance in emergency situations;

— improve our techniques for monitoring and assessing radioactivity levels;

— harmonise intervention levels and their associated emergency counter-measures;

— re-examine the application of the existing third party liability regime and compensation for nuclear damage;

— improve our dissemination of information to the public and co-ordinate our regulatory policies for implementing radiation protection guidelines. This is an area which has caused the public much confusion and concern, and where international co-operation is particularly vital.

6. Conclusion

Nuclear power is an essential component of the energy policies of many European countries and in most of them geographical, economic, political or environmental considerations determine that nuclear will continue as an important source of energy, at least for the next few decades.

Although the degree of safety attained by the nuclear industry is generally considered to be high, the Chernobyl accident showed that it can be improved.

New reactors should be designed in order to be safer, using the multiple barrier principle, the defence in depth concept and probabilistic risk-assessment methods. Safety systems of existing

nismes internationaux: l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE (AEN/OCDE). Leurs grands programmes sont:

— le Programme des normes de sûreté nucléaire, qui vise à établir un cadre de référence accepté à l'échelon international pour la sûreté des centrales nucléaires;

— le Système international de signalement des incidents, tendant au partage international de l'expérience en matière de sûreté;

— l'Equipe d'examen de la sûreté opérationnelle, organisme qui a pour fonction de conseiller les opérateurs de centrales nucléaires dans l'amélioration de la sûreté.

L'accident de Tchernobyl a révélé des secteurs particuliers à propos desquels pourrait s'organiser une meilleure collaboration internationale. Il faut, par exemple:

— approfondir l'étude des accidents graves;

— établir un système d'échange rapide d'information et d'assistance mutuelle dans les situations d'urgence;

— améliorer nos techniques de contrôle et d'appréciation des niveaux de radioactivité;

— harmoniser les niveaux d'intervention et les contre-mesures d'urgence qui leur sont liées;

— réexaminer l'application du régime existant de responsabilité civile, et d'indemnisation pour dommages d'origine nucléaire;

— améliorer la diffusion d'informations à l'intention du public, et coordonner nos réglementations pour la protection contre les rayonnements; c'est un secteur à propos duquel il y a eu beaucoup de confusion et d'inquiétude au sein du public, et dans lequel la coopération internationale est particulièrement essentielle.

6. Conclusion

L'énergie nucléaire est une composante essentielle des politiques énergétiques de plusieurs pays européens, et dans la plupart d'entre eux les considérations géographiques, économiques, politiques ou mésologiques indiquent que le nucléaire continuera d'être une importante source d'énergie, au moins pendant quelques décennies.

Bien que le degré de sûreté atteint par l'industrie nucléaire soit généralement considéré comme élevé, l'accident de Tchernobyl a montré qu'il peut être amélioré.

Les nouveaux réacteurs doivent être conçus pour être plus sûrs, mettre en œuvre le principe des barrières multiples, le concept de défense en profondeur et des méthodes probabilistes

reactors should be reviewed. The human factor should be given special attention by improving working conditions, training and retraining and reviewing every aspect of the person/machine interface.

Notwithstanding the major concern of nuclear safety being the prevention of accidents, counter-measures should be ready to minimise the consequences of such accidents, should they occur.

International co-operation within the framework of IAEA, the OECD Nuclear Energy Agency and the European Communities is essential to achieve worldwide safety and help to restore public confidence in the future of civil nuclear industry.

As the heads of state and of government of the seven big industrialised countries, together with representatives of the European Communities stated, while meeting in Tokyo immediately after the Chernobyl accident:

"Nuclear power is and will continue to be, if properly managed, a source of energy which will be more and more widely used. Each country bears the responsibility of ensuring its safety and security."

Consequently we propose the following amendments to the draft recommendation and the draft resolution of the Social and Health Affairs Committee:

I. Draft recommendation

Amendment No. 1

After paragraph 4, insert a new paragraph to read as follows:

"Noting that the Chernobyl accident:

i. was due to the combination of: *a.* a sequence of human errors and, *b.* design factors specific to the RBMK reactor;

ii. led to the uncontrolled release of radioactive materials which caused serious pollution of the environment in many countries;

iii. revealed that European countries, notwithstanding co-operation within the European Communities and OECD, had no consistent or concerted way of responding to the emergency;

iv. has led accordingly to loss of public confidence in the ability of national authorities to provide for nuclear safety and the protection of the public;

d'appréciation du risque. Il faut revoir les systèmes de sûreté des réacteurs existants. Le facteur humain doit faire l'objet d'une attention spéciale, ce qui signifie l'amélioration des conditions de travail, la formation et le recyclage, et l'examen de tous les aspects de l'interrelation homme/machine.

Si le principal objet de la sûreté nucléaire est la prévention des accidents, il faut également prendre des contre-mesures à l'occasion de tels accidents.

La coopération internationale dans le cadre de l'AIEA, de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et des Communautés européennes est essentielle pour aboutir à une sûreté mondiale, et aider à rendre confiance au public dans la future industrie nucléaire civile.

Comme les chefs d'Etat et de gouvernement des sept grands pays industrialisés, ainsi que les représentants des Communautés européennes, réunis à Tokyo immédiatement après Tchernobyl, le déclaraient:

«Le nucléaire est et continuera d'être — s'il est bien géré — une source d'énergie de plus en plus utilisée. Chaque pays porte, vis-à-vis du monde entier, la responsabilité d'en maintenir la sûreté.»

En conséquence nous proposons d'apporter les amendements suivants aux projets de recommandation et de résolution de la commission des questions sociales et de la santé:

I. Projet de recommandation

Amendement n° 1

Après le paragraphe 4, insérer un nouveau paragraphe rédigé comme suit:

«Relevant que l'accident de Tchernobyl:

i. a été provoqué par la combinaison: *a.* d'une série d'erreurs humaines, et *b.* de facteurs de conception particuliers aux réacteurs RBMK;

ii. s'est accompagné d'un dégagement non contrôlé de matières radioactives qui ont fortement pollué l'environnement dans de nombreux pays;

iii. a révélé que les pays européens, nonobstant la coopération instaurée au sein des Communautés européennes et de l'OCDE, n'étaient pas en mesure de réagir de façon cohérente ou concertée à cette situation critique;

iv. a entraîné par conséquent une diminution de la confiance du public en la capacité des autorités nationales d'assurer la sûreté nucléaire et la protection des populations;

v. has caused deferral in some countries, though not in the Soviet Union, of decisions on the expansion of nuclear electricity production ;"

Amendment No. 2

At the end of paragraph 5, add the following words :

"and that in the present situation the phasing-out of it in those countries that have substantial commitments would take not several years but several decades ;"

Amendment No. 3

Delete paragraph 7.

Amendment No. 4

In paragraph 8, replace the words "an average-size nuclear accident has" by the following : "a nuclear accident may have".

Amendment No. 5

After paragraph 8, insert a new paragraph to read as follows :

"Believing that there is a danger that nuclear installations and nuclear materials under transport or storage may become targets of acts of international terrorism, which is becoming increasingly ruthless in its actions ;"

Amendment No. 6

Delete paragraph 9.

Amendment No. 7

In paragraph 10, delete the words : "therefore that international standards and measures cannot fulfil all the specific needs of Europe, and" and add, at the end, the words :

"as a vital element not only to avoid emergencies but also in the ability of public authorities to respond adequately thereto ;"

Amendment No. 8

In paragraph 14.I, delete sub-paragraph *a.*

Amendment No. 9

In paragraph 14.I, insert a new sub-paragraph to read as follows :

v. a provoqué l'ajournement dans certains pays, mais non en Union Soviétique, de décisions sur l'accroissement de la production d'électricité d'origine nucléaire ;»

Amendement n° 2

A la fin du paragraphe 5, ajouter les mots suivants :

«et que, dans la situation actuelle, l'abandon progressif de la production d'électricité nucléaire dans les pays qui se sont engagés dans d'importants programmes prendrait non pas plusieurs années mais plusieurs décennies ;»

Amendement n° 3

Supprimer le paragraphe 7.

Amendement n° 4

Dans le paragraphe 8, remplacer les mots «de gravité moyenne a» par les mots suivants : «peut avoir».

Amendement n° 5

Après le paragraphe 8, insérer un nouveau paragraphe rédigé comme suit :

«Estimant qu'il existe un danger de voir les installations nucléaires et les matières radioactives en cours de transport ou de stockage devenir la cible du terrorisme international dont les attaques se font de plus en plus brutales ;»

Amendement n° 6

Supprimer le paragraphe 9.

Amendement n° 7

Dans le paragraphe 10, supprimer les mots «par conséquent que les normes et mesures internationales ne peuvent répondre à tous les besoins particuliers de l'Europe et» et ajouter à la fin les mots :

«car elle constitue un élément essentiel non seulement pour la prévention des situations critiques, mais aussi pour la capacité des pouvoirs publics à y réagir de façon appropriée ;»

Amendement n° 8

Dans le paragraphe 14.I, supprimer l'alinéa *a.*

Amendement n° 9

Dans le paragraphe 14.I, insérer un nouvel alinéa rédigé comme suit :

"to review and upgrade their commitments to co-operation within or with the IAEA, the OECD Nuclear Energy Agency and the European Communities;"

Amendment No. 10

In paragraph 14.I, change sub-paragraph *b* to read as follows:

"to agree on safety standards and operational rules with which all reactors should comply or be brought to comply as soon as possible;"

Amendment No. 11

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to provide for international inspection and monitoring of such compliance and for the publication and availability on request of inspectors' reports throughout the IAEA area;"

Amendment No. 12

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to insist on designs or design adjustments which provide for automatic monitoring of the actions of reactor operators and the annulment of those which threaten nuclear safety;"

Amendment No. 13

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to improve working conditions in and around nuclear power plants, and to review systems of training and retraining;"

Amendment No. 14

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to ensure in particular that simulators for the training of operators shall be available for a specified period (at least one year) before any new reactor is charged with fuel;"

Amendment No. 15

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to work towards less secretive attitudes on the part of those responsible for the civil

«à revoir et à accroître leur coopération avec l'AIEA, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et les Communautés européennes, ou au sein de ces organisations;»

Amendement n° 10

Dans le paragraphe 14.I, remplacer l'alinéa *b* par le texte suivant:

«à définir des normes de sûreté et des règles de fonctionnement auxquelles tous les nouveaux réacteurs devraient répondre et tous les anciens se conformer dans les meilleurs délais;»

Amendement n° 11

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *b* un nouveau sous-alinéa rédigé comme suit:

«à assurer l'inspection et la surveillance internationales de cette conformité, la publication des rapports d'inspection et la possibilité de consulter ceux-ci sur demande dans tous les Etats membres de l'AIEA;»

Amendement n° 12

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *b* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à imposer des conceptions ou des modifications de conception qui prévoient la surveillance automatique des actions des opérateurs de réacteurs et l'annulation de celles qui compromettent la sûreté;»

Amendement n° 13

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *b* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à améliorer les conditions de travail dans les centrales nucléaires et à proximité, et à revoir les systèmes de formation et de recyclage;»

Amendement n° 14

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *b* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à veiller en particulier à ce que l'on dispose de simulateurs pour la formation des agents d'exploitation pendant une période déterminée (d'au moins un an), avant que tout nouveau réacteur ne soit alimenté en combustible;»

Amendement n° 15

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *b* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à chercher à obtenir que les responsables de l'industrie nucléaire civile se retranchent moins

nuclear industry by, *inter alia*, insisting that spent fuel from civil reactors should be reprocessed in separate buildings from those used for military reprocessing, that the plutonium arising from civil operations should be stored separately from military plutonium, and that records thereof should be regularly published and made readily available;"

Amendment No. 16

In paragraph 14.I, insert after sub-paragraph *e* a new sub-paragraph to read as follows:

"to keep under constant review security measures aimed at preventing the dangers of international terrorism;"

Amendment No. 17

In paragraph 14.II, replace sub-paragraph *a* by the following text:

"to ratify and provide resources necessary for the implementation of the IAEA Conventions on early notification of a nuclear accident and on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency;"

Amendment No. 18

In paragraph 14.II, replace sub-paragraph *d* by the following text:

"to review systems, principles and scales of compensation for damage arising from nuclear accidents and to ensure the provision of adequate funds for this purpose;"

Amendment No. 19

In paragraph 14.II, replace sub-paragraph *e* by the following text:

"develop, in co-operation with the international scientific and medical communities, an intelligible way of conveying to the public the risks incurred from exposure to radiation, in terms, for example, of voluntarily accepted levels of exposure in particular situations, such as for chest X-rays;"

Amendment No. 20

In paragraph 14.II, add a new sub-paragraph after sub-paragraph *f* to read as follows:

"to agree on and to implement systems of measuring and monitoring radioactivity in the environment and of rapidly sharing this information so that in the event of an emergency a coherent overall picture of the radiological situation emerges;"

derrière le secret, en insistant notamment pour que le combustible de rebut des réacteurs civils soit retraité dans des bâtiments distincts de ceux qui sont utilisés pour le retraitement militaire, pour que le plutonium produit par des opérations civiles soit stocké séparément du plutonium militaire et que des chiffres à ce sujet soient publiés régulièrement et rendus disponibles;»

Amendement n° 16

Dans le paragraphe 14.I, insérer après l'alinéa *e* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à maintenir constamment à l'étude les mesures de sécurité destinées à prévenir les dangers du terrorisme international;»

Amendement n° 17

Dans le paragraphe 14.II, remplacer l'alinéa *a* par le texte suivant:

«à ratifier les Conventions de l'AIEA sur la notification rapide des accidents nucléaires et sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, et à fournir les moyens nécessaires pour la mise en œuvre de ces instruments;»

Amendement n° 18

Dans le paragraphe 14.II, remplacer l'alinéa *d* par le texte suivant:

«à revoir les systèmes, les principes et les barèmes d'indemnisation des dommages causés par les accidents nucléaires, et à prévoir les fonds nécessaires à cette fin;»

Amendement n° 19

Dans le paragraphe 14.II, remplacer l'alinéa *e* par le texte suivant:

«à mettre au point, avec la collaboration des collectivités scientifiques et médicales internationales, une façon intelligible de faire connaître au public les risques des rayonnements, en les comparant, par exemple, au niveau volontairement accepté d'exposition dans des situations particulières, comme pour les radiographies du thorax;»

Amendement n° 20

Dans le paragraphe 14.II, insérer après l'alinéa *f* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à définir et à mettre en œuvre des systèmes de mesure et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement, permettant de diffuser rapidement ces renseignements pour qu'en cas de situation critique on puisse se faire une idée globale cohérente de la situation radiologique;»

Amendment No. 21

In paragraph 14.II, replace sub-paragraph *g* by the following text:

"to draw up and publish, in concertation with neighbouring countries that might be affected, emergency plans for all nuclear installations, with special regard to the evacuation and protection of the population, the training and equipment of fire and ambulance services and the holding of rehearsals with the personnel involved;"

Amendment No. 22

In paragraph 14.II, insert after sub-paragraph *g* a new sub-paragraph to read as follows:

"to agree on the criteria according to which, in the event of an emergency, public authorities should intervene to warn and protect the public against the effects of radioactive contamination and pollution and to alert the public authorities of potentially affected countries;"

Amendment No. 23

In paragraph 14.III, replace sub-paragraph *b* by the following text:

"to compare the social costs and consequences of nuclear energy with those of fossil and renewable energy forms;"

Amendment No. 24

In paragraph 14.III, replace sub-paragraph *c* by the following text:

"to encourage industrial and scientific participation for alternative-energy projects in European co-operation programmes with a view to creating working places and innovative development for small and medium-sized enterprises."

II. Draft resolution

Amendment No. 1

Replace the introduction to paragraph 5 by the following text:

"Invites the governments of the Soviet Union, of other East European countries and in general the governments of every country that uses nuclear energy:"

Amendment No. 2

Delete sub-paragraph 5.*a.*

Amendement n° 21

Dans le paragraphe 14.II, remplacer l'alinéa *g* par le texte suivant:

«à élaborer et à publier, pour toutes les installations nucléaires et en concertation avec les pays voisins qui pourraient être affectés, des plans d'urgence qui prévoient en particulier l'évacuation et la protection de la population ainsi que la formation et l'équipement des services d'incendie et d'ambulance, et l'organisation d'exercices pour le personnel intéressé;»

Amendement n° 22

Dans le paragraphe 14.II, insérer après l'alinéa *g* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à définir des critères en fonction desquels, en cas de situation critique, les pouvoirs publics devraient intervenir pour alerter la population et la protéger contre les effets de toute contamination radioactive et de toute pollution ainsi qu'avertir les autorités publiques des pays potentiellement affectés;»

Amendement n° 23

Dans le paragraphe 14.III, remplacer l'alinéa *b* par le texte suivant:

«à comparer les coûts et les conséquences au plan social de l'énergie nucléaire avec ceux des combustibles fossiles et des sources d'énergie renouvelables;»

Amendement n° 24

Dans le paragraphe 14.III, remplacer l'alinéa *c* par le texte suivant:

«à encourager la participation industrielle et scientifique aux projets d'énergie de substitution dans les programmes de coopération européenne afin de créer des unités de travail et de promouvoir les innovations utilisables par de petites et moyennes entreprises.»

II. Projet de résolution

Amendement n° 1

Remplacer l'introduction du paragraphe 5 par le texte suivant:

«Invite les gouvernements de l'Union Soviétique, des autres pays de l'Europe de l'Est et en général les gouvernements de tous les pays qui utilisent l'énergie nucléaire:»

Amendement n° 2

Supprimer l'alinéa 5.*a.*

Amendment No. 3

Insert before sup-paragraph 5.*b* a new sub-paragraph to read as follows:

"to agree on safety standards and operational rules with which all reactors should comply or be brought to comply as soon as possible;"

Amendment No. 4

Replace sub-paragraph 5.*c* by the following text:

"to ratify and provide resources necessary for the implementation of the IAEA Conventions on early notification of a nuclear accident and on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency;"

APPENDIX

Different types of nuclear power stations

This chapter describes different types of nuclear power stations in Europe and the USSR. This will be done only for power reactors. All other types like research reactors and test facilities will be excluded. It might be interesting to notice that countries such as Denmark, Norway and others do have research reactors but no power reactors.

The description is focused basically on safety issues related to different types of nuclear plants. Parameters such as stability, redundancy, technical regulations, containment and location will be discussed.

The description is done very briefly and most details are excluded. Even if this report dealt with only one plant, it would be impossible to describe everything affecting the plant's safety.

Scandinavia

Among the Scandinavian countries, only Sweden and Finland have nuclear power reactors. The types of reactor used are BWR (boiling water reactors) and PWR (pressurised water reactors). All BWRs are delivered by ASEA-Atom and the PWRs in Sweden are from Westinghouse. The Finnish PWR is a mix, with a basic standard design from the USSR, containment from Westinghouse and control equipment from Siemens in the Federal Republic of Germany.

All these reactors have the same basic concept based on international standards for nuclear safety, for instance, single-failure criterion, their inherent stability, thirty minute rule (except Loviisa in Finland) and so on. All reactors have strong containments designed for the largest pipe-break.

During the last years, filtered-vented containments have been discussed. The Barsebäck plant, located 20 km from Copenhagen, has been equipped with a filter.

Amendement n° 3

Insérer avant l'alinéa 5.*b* un nouvel alinéa rédigé comme suit:

«à définir des normes de sûreté et des règles de fonctionnement auxquelles tous les nouveaux réacteurs devraient répondre et tous les anciens se conformer dans les meilleurs délais;»

Amendement n° 4

Remplacer l'alinéa 5.*c* par le texte suivant:

«à ratifier les Conventions de l'AIEA sur la notification rapide des accidents nucléaires et sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, et à fournir les moyens nécessaires pour la mise en œuvre de ces instruments;»

ANNEXE

Différents types de centrales nucléaires

Nous décrirons, dans cette annexe, différents types de centrales nucléaires en Europe et en URSS. Nous ne le ferons que pour les réacteurs destinés à la production d'électricité, en excluant tous les autres types tels que réacteurs de recherche ou d'épreuve. Il peut être intéressant de noter que des pays comme le Danemark, la Norvège et d'autres possèdent des réacteurs de recherche, mais aucune centrale nucléaire.

Les descriptions ci-dessous s'attachent essentiellement à la sûreté des différents types de centrales nucléaires. On traitera de paramètres tels que la stabilité, la redondance, la réglementation technique, le confinement et le lieu d'implantation.

Lesdites descriptions sont très brèves et éliminent la plupart des détails. Même si le présent rapport n'avait pour objet qu'une seule centrale, il ne pourrait parler de tout ce qui intéresse la sûreté.

Scandinavie

Parmi les pays scandinaves, seules la Suède et la Finlande ont des centrales nucléaires. Leurs réacteurs sont de type BWR (réacteurs à eau bouillante) et de type PWR (réacteur à eau pressurisée). Tous les BWR sont livrés par *ASEA-Atom*, et les PWR de Suède sont fabriqués par Westinghouse. Le PWR finlandais est un appareil mixte dont l'essentiel est un modèle soviétique normal, la cellule de confinement étant de Westinghouse et les équipements de contrôle de la Siemens allemande.

Tous ces réacteurs procèdent d'une même conception de base s'inspirant des critères internationaux de la sûreté nucléaire, par exemple celui de la défaillance unique, celui de la stabilité inhérente, celui de la règle des trente minutes (sauf pour Loviisa, en Finlande), et ainsi de suite. Tous les réacteurs sont dotés de fortes cellules de confinement, conçues pour résister aux plus importantes fuites de tubulures.

On parle depuis quelques années de caissons à évent-filtre. La centrale de Barsebäck, située à 20 km de Copenhague, a été munie d'un filtre.

The effect is that, even if the worst design accident were to happen and other failures like an overpressure in the containment, there would be no need for an evacuation of the people in Copenhagen or in Malmö.

Other nuclear power plants in Europe have more people living closer to the plant than the Barsebäck plant has.

A similar type of filter will be installed at the other Swedish nuclear plants. In Finland, the discussion about filtered-vented containment has just begun.

Federal Republic of Germany

In the Federal Republic of Germany, there are several different types of reactors. Most of the reactors are PWR and in second place BWR. However, in 1987 the Federal Republic of Germany is planning to start up two power reactors,one of the FBR (fast breeder reactor) type and one of the HTGR (high temperature reactor) type. This is possibly because small plants have been running for some years.

The first couple of nuclear power plants were constructed under licence by United States vendors. Then, AEG developed the BWR in co-operation with General Electric and Siemens developed PWR in co-operation with Westinghouse.

All that has been said about the safety concept for the Scandinavian reactors is also true about the German reactors including the filtered- vented containment, which has been adopted for the PWRs.

Some interesting remarks must be made here. The PWR has in a certain way double containments where the inner one takes care of pipe-breaks, spent-fuel pool failures and other failures in the primary loop. The outer containment takes care of external impacts and possible leakage from the inner containment. It is quite favourable to have the spent-fuel pool inside the containment and therefore better protected than in most other plants.

The old BWR design of containment is unique due to the spherical steel containment. This type of containment does not have the advantage that was mentioned for the PWR. The possibilities of cooling a molten core must also be investigated. The new BWR design of containment is different and is similar to the latest containments in Sweden (03,F3). In this type, it is clear that a molten core could be contained and cooled by some additional functions.

The FBR reactor is a totally different type from the LWR (light water reactor). The part of delayed neutrons in the FBR reactor is not as big as in the LWR reactors. In some situations the void coefficient could also be positive. These two things increase the importance of fast control and shut-down systems. Due to this, it is not impossible to get reactor excursion as in Chernobyl. The reactor tank in FBR reactors in the Federal Republic of Germany and France is designed to withstand this kind of accident.

It is also possible to get a fast core melt-down due to malfunctions in the scram systems. In this case, it

Il s'ensuit que, même dans le cas du pire accident ou d'autres défaillances telles qu'une surpression dans l'enceinte, il ne serait pas nécessaire d'évacuer la population de Copenhague ou de Malmö.

D'autres centrales nucléaires européennes sont plus proches de lieux d'habitation plus importants que ceux du voisinage de Barsebäck.

Un type de filtre analogue sera installé dans les autres centrales nucléaires suédoises. En Finlande, on commence seulement à examiner la question du caisson à évent-filtre.

République Fédérale d'Allemagne

En République Fédérale d'Allemagne, il y a plusieurs types de réacteurs. La plupart d'entre eux sont des PWR, les BWR venant en seconde position. Mais la République Fédérale d'Allemagne projette de mettre en chantier, en 1987, deux réacteurs à électricité, l'un du type FBR (surgénérateur) et l'autre du type HTGR (réacteur à haute température). Cette décision découle peut-être du fait que de petites centrales fonctionnent depuis de nombreuses années.

Les deux premières centrales nucléaires ont été construites sous licence de fournisseurs américains. Puis, AEG a créé un BWR en coopération avec General Electric, alors que Siemens créait un PWR en coopération avec Westinghouse.

Tout ce qui a été dit de la conception de la sûreté pour les réacteurs scandinaves est également vrai de ceux de la République Fédérale d'Allemagne, y compris le caisson à évent-filtre qui a été adopté pour les PWR.

Il faut faire ici quelques remarques intéressantes. Le PWR possède en quelque sorte un double caisson, l'enceinte intérieure garantissant contre les fuites de tubulures, les défaillances de la citerne de combustible usé et d'autres défaillances du cycle primaire. Le caisson extérieur prémunit contre les impacts du dehors et les fuites éventuelles du récipient intérieur. Il est très favorable de placer la citerne de combustible usé à l'intérieur de l'enceinte, où elle est plus à l'abri que dans la plupart des autres centrales.

La conception de l'ancien BWR, avec son récipient d'acier sphérique, avait un caractère unique. Ce type de récipient ne présente pas les avantages mentionnés pour le PWR. Il faut d'autre part se préoccuper des possibilités de refroidissement d'un cœur en fusion. La conception de l'enceinte du nouveau BWR est différente et ressemble aux dernières enceintes suédoises (03,F3). Il est évident que, dans ce type, un cœur en fusion pourrait être contenu et refroidi par quelques fonctions supplémentaires.

Le FBR est un type tout à fait différent des réacteurs LWR (réacteurs à eau ordinaire). La proportion de neutrons retardés, dans le réacteur FBR, n'est pas aussi grande que dans les LWR. Dans certaines situations, le coefficient de vide pourrait également être positif. Ces deux facteurs accroissent l'importance d'une commande rapide et des systèmes d'arrêt, et rendent possible une excursion du réacteur, comme à Tchernobyl. Le caisson des réacteurs FBR, en République Fédérale d'Allemagne et en France, est conçu pour résister à ce type d'accident.

Il est également possible d'aboutir à une fusion rapide du cœur par suite d'un mauvais fonction-

is important that the core catcher will work because of the risk of criticality in the molten core.

If the molten core is not cooled it is possible that the core will penetrate the tank with radioactive releases greater than in LWR reactors.

The Federal Republic of Germany has also started an interesting development concerning a new HTGR. The fuel consists of small balls with a ceramic surface.If the size of the reactor is not greater than 200 MWt, it is not necessary to have systems for residual heat removal. The control "rods" could also be installed outside the reactor tank as reflectors.

Several reactors in the Federal Republic of Germany are located close to big cities. Biblis, for instance, has a population of 2 500 000 within 40 km and Krummel about 2 000 000.

France

France is unique with only one utility (EDF) which also acts as its own architect-engineer with only one contractor, FRAMATOME.

The French nuclear power reactors consist mostly of PWRs which are of standard design, a few FBRs and MAGNOX.

The French approach to nuclear safety is based on international standards and requirements. The organisation is based on clear definitions of responsibilities where the plant organisations have the primary safety responsibility and authorities set the objectives. By this task distribution, quality assurance is clearly stressed.

The PWRs in France are based on a licence of Westinghouse and are similar and have the same philosophy as in the rest of Western Europe. Safety is based on the defence in depth concept with several barriers to radioactive releases. Filtered-vented containment has been discussed and all new PWRs should be equipped with a filter which is smaller than the filter in Barsebäck, Sweden.

The FBRs in France have the same characteristic safety parameters as the German ones. This is described above.

France also has MAGNOX reactors. These reactors are relatively old, from the late 1960s. They were originally built to safety standards less well developed than those used nowadays but have been modified throughout their lifetime. Some fundamental bases could be difficult to modify such as containment, which is the weak point in this type of reactor.

The location of the French reactors in comparison with other countries is not extreme. Within a distance of 40 km, Fessenheim and Cattenom have a population of about 1 500 000. It should be noted that within 10 km from Cattenon there is a population of 100 000. This is quite considerable.

nement des systèmes d'arrêt. Il importe, dans ce cas, que le cendrier joue bien son rôle, en raison du risque d'état critique (capacité de fission) dans le cœur fondu.

Si ce cœur n'est pas refroidi, il pourra dégager à travers le caisson une radioactivité plus grande que ce ne serait le cas dans les réacteurs LWR.

On a également mis en train, en République Fédérale d'Allemagne, un intéressant projet de HTGR. Le combustible consiste ici en petites boules enrobées de céramique. Si la dimension du réacteur ne dépasse pas 200 MWt, on peut se passer de systèmes d'élimination de la chaleur résiduelle. Les «barres» de commande pourraient en outre être installées en dehors du caisson du réacteur, comme des réflecteurs.

Plusieurs centrales, en République Fédérale d'Allemagne, sont situées à proximité de grandes villes. Biblis, par exemple, est à 40 km d'une agglomération de 2 500 000 âmes, et Krummel n'est pas loin d'une ville de 2 000 000 d'habitants.

France

Le cas de la France est unique, avec un service public unique (EDF), qui est également son propre architecte-ingénieur, et avec un seul entrepreneur, FRAMATOME.

Les réacteurs nucléaires français sont pour la plupart des PWR (réacteurs à eau pressurisée) de conception classique, avec quelques surgénérateurs et MAGNOX.

Les conceptions françaises en matière de sûreté nucléaire se fondent sur les exigences et les critères internationaux. L'organisation procède de définitions claires des responsabilités, la sûreté relevant avant tout de la direction de la centrale, tandis que l'autorité administrative arrête les objectifs. Cette répartition des tâches doit assurer la qualité.

Les réacteurs à eau français, construits sous licence Westinghouse, sont analogues à ceux du reste de l'Europe occidentale, et fonctionnent selon les mêmes principes. La sûreté repose sur le concept de défense en profondeur comportant plusieurs barrières aux émanations radioactives. On a étudié la question du caisson avec évent-filtre, et tous les nouveaux réacteurs à eau doivent être équipés d'un filtre plus petit que celui de Barsebäck, en Suède.

Les surgénérateurs de France ont les mêmes caractéristiques de sûreté que ceux de la République Fédérale d'Allemagne précités.

Il y a également en France des réacteurs MAGNOX qui datent de la fin des années 60. Ils avaient été construits selon des normes de sécurité moins développées que les actuelles, mais ont fait l'objet de mises à jour constantes. Néanmoins, certains éléments fondamentaux pourraient difficilement être modifiés ; c'est le cas des caissons de confinement, qui constituent le point faible de ce type de réacteur.

Par comparaison avec d'autres pays, l'implantation des centrales françaises n'est pas extrême. Les centrales de Fessenheim et de Cattenom avoisinent, à 40 km, une population de 1 500 000 habitants. On peut noter qu'à 10 km de Cattenom se trouve une agglomération de 100 000 personnes, ce qui est beaucoup.

United Kingdom

One characteristic thing about the United Kingdom is that they do not have anyLWRs, BWRs or PWRs, which are so common in other countries.

The United Kingdom has developed gas-cooled reactors like MAGNOX and AGR (advanced gas reactor). They also have one FBR. This development started in the early 1950s to optimise the plutonium production. The AGR was developed from MAGNOX and the first reactors were not free of problems.

The MAGNOX reactors are quite old, some of them more than 20 years old. As said before, they were not developed according to standards of today. There are two kinds of pressure vessels, steel for the old ones and concrete. If a rupture should occur it would depressurise the steel vessel in thirty seconds and the concrete vessel in fifteen minutes. This leads to different requirements for the safety systems.

In the United Kingdom, individual reviews are now in hand with the aim of confirming that each plant is adequately safe for continued operation.

As said before, the AGRs had problems in the beginning. Modifications have been made which have delayed commissioning and in some cases restricted power output.

At the beginning of the nuclear programme, the philosophy was to locate nuclear power stations far away from big populations. As they gained more experience, nuclear power stations have been located quite near big populations. The siting of AGRs in Hartepool and Heysham is an example of the new policy, each having some 100 000 people within 8 km of the station.

Belgium, Italy, Netherlands, Spain and Switzerland

All these countries have BWR or PWR reactors of the same design as mentioned above. Spain also has MAGNOX.

Reactors in some of these countries are located close to large populations. Doel, in Belgium, has a population close to the station which is among the largest in density in the world. There is a population of 1 000 000 people within 20 km and 5 000 000 people within 50 km. It is also interesting to note that this site contains four PWRs with a total power of 3 000 MW.

Czechoslovakia, Hungary, Yugoslavia, German Democratic Republic

All these countries have PWRs designed by the USSR. These reactors could be compared with the reactors in Finland, at Loviisa.

The design of Loviisa includes many requirements that are accepted for West Europe, for instance redundancy, single-failure criteria. The availability at Loviisa has been extremely high which indicates reliable components and a good design. Reactors in Eastern Europe also have differences, like less redundancies, and are more sensitive to fires.

Royaume-Uni

Ce qui est caractéristique du Royaume-Uni, c'est qu'il ne possède pas de réacteurs à eau (ni LWR ni BWR), types si fréquents dans les autres pays.

On y a créé des réacteurs refroidis au gaz, comme MAGNOX et AGR (réacteur avancé refroidi au gaz). On y exploite également un surgénérateur rapide. On a commencé à développer cette technique au début des années 50, afin de parvenir à une production optimale de plutonium. L'AGR est dérivé du MAGNOX, et les premiers réacteurs n'ont pas été sans problèmes.

Les réacteurs MAGNOX sont très anciens, certains ayant plus de 20 ans. Comme nous l'avons dit, ils n'ont pas été construits selon les normes actuelles. Il y a deux sortes de récipients sous pression : les anciens, en acier, et les caissons de béton. En cas de rupture, le récipient d'acier serait dépressurisé en trente secondes et l'enceinte de béton en quinze minutes. De ces faits découlent des exigences différentes pour les systèmes de sécurité.

On procède actuellement au Royaume-Uni à des examens, cas par cas, afin de confirmer que chaque centrale peut continuer à fonctionner en toute sûreté.

Comme nous l'avons dit, les AGR ont eu des problèmes à leurs débuts. On y a, par la suite, apporté des modifications qui ont retardé la mise en service et, dans certains cas, réduit la production d'électricité.

Dans les premiers programmes nucléaires, on se promettait de situer les centrales loin des grandes agglomérations. Mais à mesure que l'on acquérait de l'expérience, on plaçait des centrales à proximité de populations nombreuses. Les emplacements des AGR de Hartepool et de Heysham illustrent bien la nouvelle politique, chacune des deux centrales comptant quelque 100 000 personnes dans un rayon de 8 km.

Belgique, Italie, Pays-Bas, Espagne et Suisse

Il existe dans tous ces pays des réacteurs à eau ou des BWR de même conception que les précités. On trouve aussi MAGNOX en Espagne.

Certaines centrales de ces pays sont situées près de grandes agglomérations. Doel, en Belgique, est entourée par l'une des populations les plus denses du monde : 1 000 000 de personnes dans un rayon de 20 km, et 5 000 000 dans un rayon de 50 km. Il est également intéressant de noter que cette centrale comprend quatre réacteurs à eau déployant une puissance totale de 3 000 MW.

Tchécoslovaquie, Hongrie, Yougoslavie, République Démocratique Allemande

On trouve dans tous ces pays des réacteurs à eau conçus en URSS. On peut les comparer aux réacteurs finlandais de Loviisa.

La conception de Loviisa répond à plusieurs exigences ayant cours en Europe occidentale, par exemple, la redondance, les critères de défaillance unique. La puissance réelle disponible, à Loviisa, est très grande, ce qui dénote des composants fiables et une bonne conception. Les réacteurs d'Europe de l'Est accusent d'autre part des différences, telles que moindre redondance, et une plus grande sensibilité aux incendies.

However, there is a very important difference between Loviisa and most of the reactors in the abovementioned countries in East Europe, that is, the containment, which is often left out in East European reactors.

USSR

The reactor programme in the USSR contains basically PWRs and RBMKs, about 50 % each.

Most of the reactors in the USSR do not have containments. Even before the accident in Chernobyl, the philosophy in the USSR had changed. All new plants will be equipped with containments. This is also true for plants exported to other countries.

There are many reasons why more interest should be focused on the RBMK type of reactor, for instance :

— the reactor is unstable in normal operational areas due to its positive void-coefficient ;

— it contains a lot of graphite, which could cause a heavy fire ;

— it has no containment system.

Chernobyl-4 was designed for an output of 1 000 MW. In Ignalina the same type of reactor and core has been designed for a 1 500 MW output, by decreasing the margins for fuel overheating.

In addition, this 1 500 MW reactor has, of course, the same bad characteristics as the 1 000 MW reactor in Chernobyl.

In Sweden, a reactor called Marviken was designed in the 1960s with the same poor instabilities. The construction of the reactor was stopped on account of this.

On doit cependant signaler une très importante différence entre Loviisa et la plupart des réacteurs des pays précités d'Europe de l'Est : elle réside dans le confinement, souvent négligé dans les réacteurs desdits pays.

URSS

Le programme de réacteurs d'URSS comprend essentiellement des réacteurs à eau et des RBMK, à raison d'environ 50 % de chaque type.

La plupart de ces réacteurs sont sans enceintes de confinement. Mais avant même l'accident de Tchernobyl, l'opinion s'était modifiée, et toutes les nouvelles centrales d'URSS seront équipées d'enceintes de confinement. Il en sera de même pour les centrales exportées vers d'autres pays.

Les réacteurs RBMK doivent faire l'objet d'une attention accrue, pour plusieurs raisons, par exemple :

— il s'agit d'un type de réacteur instable en fonctionnement normal, à cause d'un coefficient de vide positif ;

— il contient une grande quantité de graphite, qui pourrait être à l'origine de graves incendies ;

— il n'y a pas de système de confinement.

Le réacteur n° 4 de Tchernobyl était destiné à la production de 1 000 MW. A Ignalina, le même type de réacteur et de cœur a été conçu pour une production de 1 500 MW, en diminuant les marges de surchauffe du combustible.

D'autre part, ce réacteur de 1 500 MW présente évidemment les mêmes mauvaises caractéristiques que le réacteur de 1 000 MW de Tchernobyl.

En Suède, on conçut, dans les années 60, un réacteur du nom de Marviken, qui présentait les mêmes causes d'instabilité. Cependant, on en arrêta la construction, précisément pour ces raisons.