

NEA TECHNICAL OPINIONS / AVIS TECHNIQUES DE L'AEN



NEA/CSNI/R(96)2

**CURRENT EVALUATION OF
THE CHERNOBYL REACTOR ACCIDENT RELEASE**

*A Report prepared by
the Principal Working Group on
the Confinement of Accidental Radioactive Releases (PWG-4) of
the NEA Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)*

**ÉVALUATION ACTUELLE DES REJETS
DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL**

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

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT
ORGANISATION POUR LA COOPÉRATION ET LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

Paris, February/Février 1996



OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY

Le Seine Saint-Germain – 12, boulevard des Îles

F-92130 Issy-les-Moulineaux (France)

Tel. (33-1) 45 24 82 00 Fax (33-1) 45 24 11 10



ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

Pursuant to Article 1 of the Convention signed in Paris on 14th December 1960, and which came into force on 30th September 1961, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) shall promote policies designed:

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

The original Member countries of the OECD are Austria, Belgium, Canada, Denmark, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, the United Kingdom and the United States. The following countries became Members subsequently through accession at the dates indicated hereafter: Japan (28th April 1964), Finland (28th January 1969), Australia (7th June 1971), New Zealand (29th May 1973), Mexico (18th May 1994) and the Czech Republic (21st December 1995). The Commission of the European Communities takes part in the work of the OECD (Article 13 of the OECD Convention).

NUCLEAR ENERGY AGENCY

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

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

This is achieved by:

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

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

© OECD 1996

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

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

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1er de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant

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

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

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

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

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

Pour atteindre cet objectif, l'AEN :

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

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

© OCDE 1996

Les demandes de reproduction ou de traduction totales ou partielles de cette publication doivent être adressées à :
M. le Chef du Service des Publications, OCDE

CURRENT EVALUATION OF THE CHERNOBYL REACTOR ACCIDENT RELEASE

Background

1996 marks the tenth anniversary of the Chernobyl accident. The NEA Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH) has prepared for that occasion an authoritative collective statement on the situation at Chernobyl¹, reviewing the current state of knowledge regarding the short-term and long-term health impact of the accident, discussing remaining problems (e.g., land contamination, population exposure), and presenting the lessons learned by the OECD Member countries in terms of radiation protection infrastructure and emergency preparedness. In order to make a full assessment of health effects, the CRPPH needed to consider dosimetric assessment. This implied, possibly, a re-evaluation of the magnitude of the Chernobyl accidental release. The CRPPH asked the Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) and the Principal Working Group on the Confinement of Accidental Radioactive Releases (PWG-4) to discuss this matter and come up, if necessary, with revised estimates for the release.

Preamble

The worst accident ever experienced at a nuclear power plant occurred on 26 April 1986 at Unit 4 of the Chernobyl Atomic Energy Station. This accident captured worldwide attention because the radioactive material released from the damaged plant was detected in most countries in the Northern hemisphere. In August 1986, the scientists from the former Soviet Union provided the nuclear safety community at the IAEA Post-Accident Review Meeting in Vienna with a detailed account of the accident. This included preliminary assessments of the magnitudes, rates, and compositions of radionuclide releases (usually referred to as the "source term") during the 10 days following initiation of the accident.

During the last decade, a great deal more data concerning the events, phenomena, processes and environmental consequences have been gathered after several investigations conducted at the Chernobyl site, and also at other places both inside and outside the former Soviet Union. As a

1. NEA, *Chernobyl Ten Years On: Radiological and Health Impact*, Paris, 1996.

result of the continued activities, the initiating event, the extent of the damage, the characterisation of environmental release and its consequences have been, to an acceptable uncertainty, well understood. It is generally agreed that such an accident is highly unlikely in any Western-type power reactor, and could not possibly lead in these plants to consequences as dramatic as those resulting from the Chernobyl accident.

The purpose of the following sections is to put the Chernobyl accident in perspective, very briefly, and to assemble and summarise the recent general findings and consensus concerning the Chernobyl source term².

Release Rates

The magnitude and timing of the release of radionuclides during the Chernobyl accident has been widely discussed over the last decade. There was an initial, intense phase of radioactive material release during the rapid reactor core disruption. The core disruption was due to the fast overpower transient caused by poor reactor operation and the very unfavourable reactor physics characteristics of the RBMK reactor concept. This initial release included fragments of fuel as well as other radioactive materials in the form of aerosol particles, gases and vapours. The simultaneous high energy release heated the plume of radioactive substances and lifted it high into the atmosphere. Much of the released material and especially the fragmented fuel particles deposited within the borders of the former U.S.S.R. Nevertheless, large quantities of radionuclides, especially the more volatile (*e.g.*, caesium, iodine and tellurium isotopes), were carried large distances by high altitude air currents and were deposited across vast areas outside the former Soviet Union.

After the initial peak release during the core disruption phase, the releases of radionuclides continued but at a lower level, reaching a temporary minimum level around 29 April 1986. Large-scale efforts had been undertaken at the reactor site to mitigate and manage the accident; nevertheless, the release rate increased again. A second peak in the rate of radioactive material releases occurred. Finally, on or about 5 May, some 9-10 days after the initial phase of the accident, the radioactive material release rates dropped by about a factor of thousand and have remained very low.

Release Composition and Magnitude

The initial quantitative estimates of the released radionuclides during the initial and subsequent phases of the accident presented at the Post-Accident Review Meeting in August 1986 were mainly based on the integration of ground deposits within the territories of the former Soviet Union. These have been upgraded to incorporate the data gathered on the radioactive material that fell out outside the former Soviet territories, and by closer examination of the destroyed reactor and analyses of materials from the core and from the reactor building. Clearly, the total release from the Chernobyl accident must have been greater than the material that fell within the former Soviet territories. Careful examination of the initial and currently known release estimates

2. The PWG-4's work on the Chernobyl source term is presented in report OCDE/GD(96)12 [NEA/CSNI/R(95)24], "The Chernobyl Reactor Accident Source Term - Development of a Consensus View", by L. Devell, S. Guntay and D.A. Powers.

indicates that the total world-wide release of radiologically important nuclides (*e.g.* caesium and iodine) was two to three times more than what was initially estimated for the former Soviet Union alone.

More than half the initial core inventory of iodine is thought to have been released from the damaged reactor. As a result of integration of world-wide deposition and analyses of core debris within the reactor, one-third of the initial core inventories of caesium and tellurium are estimated to have been released.

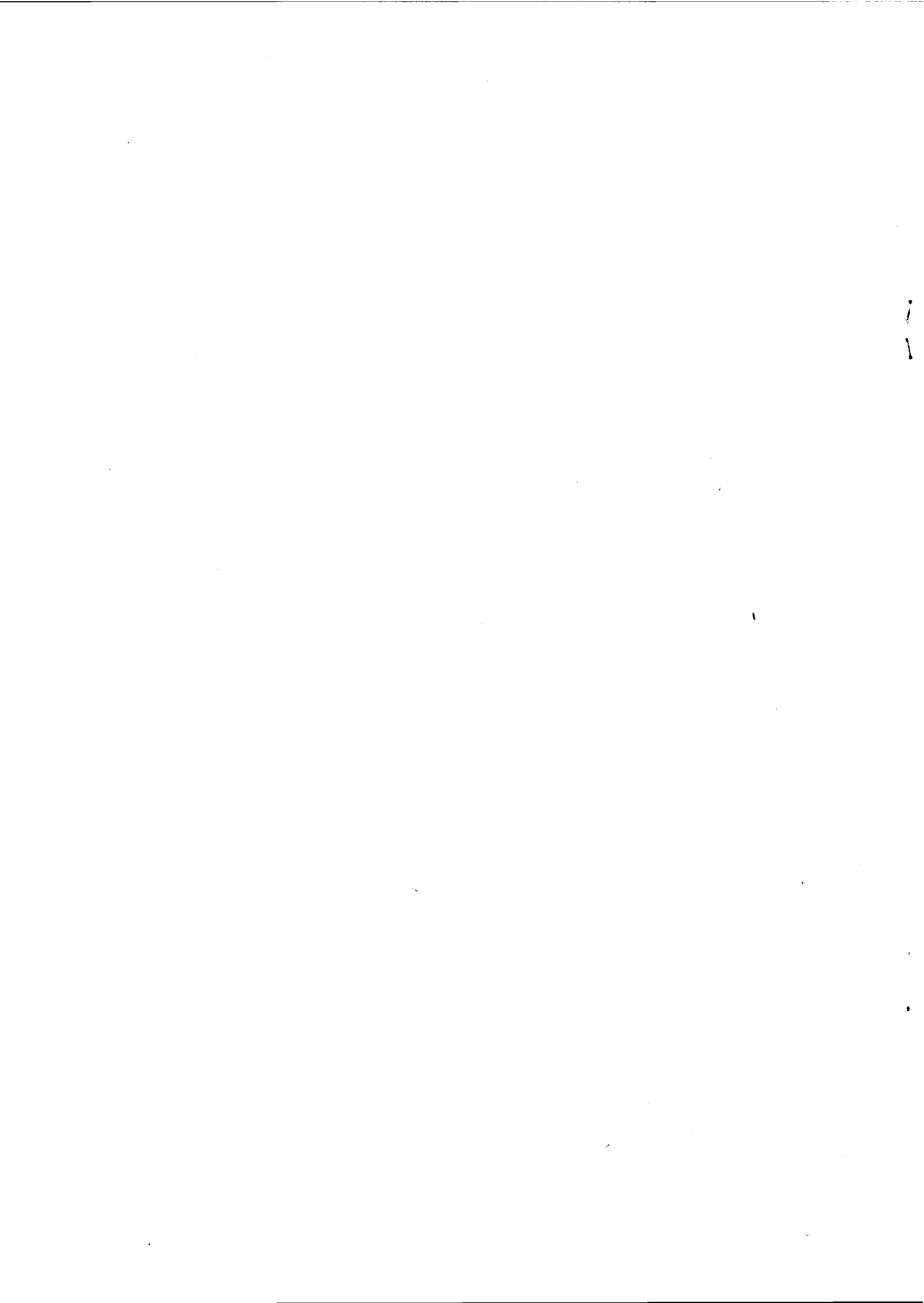
Thus, for these materials, the total amount that was deposited over the whole world outside the former Soviet Union was of the same order as the amount that was deposited within the U.S.S.R. However, for other important materials, such as fuel fragments, relatively little was transported outside the former Soviet Union.

An exceptional feature of the radioactive material release during the Chernobyl accident was the release of a relatively substantial amount (3.5 per cent) of the total fuel inventory to the environment. Release of fuel fragments late in the accident might be the result of core debris oxidation. Low volatility elements such as cerium, zirconium and the actinides were retained in the fuel fragments. Significant quantities of these elements outside of fuel particles were not detected. This implies that there was little release of these elements by vaporisation. Certain radioisotopes within the fuel probably became liberated from the molten fuel or fuel fragments as a result of the high temperature and chemical environment in the days following the accident. This is probably the source of the particles composed almost totally of ruthenium isotopes. Air samples indicated that the releases of molybdenum and ruthenium were substantially higher in the late phase of the radionuclide emission period than the releases of fuel fragments. This suggests that the release mechanism of molybdenum and ruthenium was by oxidation to volatile forms.

Although fuel fragments themselves were not carried out very far, monitoring at many locations showed that the fission products in gaseous or aerosol form were transported over large distances from the site. Distance tends to dilute the concentration of fission products in the atmosphere. However, climatic and local weather conditions often resulted in local concentration onto relatively small areas, even at large distances.

Conclusions

At the request of CRPPH, CSNI's PWG-4 re-evaluated the Chernobyl reactor accident release. The initial release estimates made by the Soviets in 1986 – based on limited data – did not cover territories outside the U.S.S.R. Subsequent studies conducted over the last decade have considered the additional results obtained from experts in Russia and other countries. The PWG-4 work has updated the release estimates making use of the more recent results. However, its re-evaluation does not modify the essence of earlier conclusions regarding the source term or health consequences; the latter will be discussed separately in documents prepared by the CRPPH.



ÉVALUATION ACTUELLE DES REJETS DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

Contexte

L'année 1996 marque le dixième anniversaire de l'accident de Tchernobyl. Le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) de l'AEN a préparé, pour cette occasion, une déclaration collective sur la situation à Tchernobyl¹, qui fera le tour de nos connaissances actuelles de l'impact à court et à long terme de cet accident sur la santé des populations, des problèmes en suspens (contamination des sols, exposition des populations) et des enseignements qu'en ont tirés les pays Membres de l'OCDE en ce qui concerne l'infrastructure de radioprotection et les plans d'urgence. Or, pour pouvoir évaluer de façon exhaustive les effets sanitaires de cet accident, le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) devait s'appuyer sur des évaluations dosimétriques, et donc, éventuellement, réévaluer l'ampleur des rejets de substances radioactives au cours de cet accident. Le CRPPH a, dans ce but, demandé au Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) et au Groupe de travail principal n° 4 sur le confinement des rejets accidentels de matières radioactives (GTP n° 4) d'étudier le problème et, le cas échéant, de lui fournir de nouvelles estimations des rejets.

Préambule

Le 26 avril 1986, la tranche 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl fut le théâtre de l'accident le plus grave jamais survenu dans ce type d'installation. Cet accident attira l'attention du monde entier parce que les substances radioactives rejetées par l'installation endommagée furent détectées dans la plupart des pays de l'hémisphère Nord. En août 1986, les scientifiques de l'ex-Union soviétique présentèrent un compte rendu détaillé de l'accident lors d'une Réunion d'experts techniques pour l'analyse de l'accident de Tchernobyl qui se tint à l'AIEA, à Vienne. Leur exposé comprenait des évaluations préliminaires de l'importance, des taux et de la composition des rejets de radionucléides (le « terme source », dans la terminologie usuelle) au cours des 10 jours consécutifs à l'accident.

1. AEN, *Tchernobyl dix ans déjà – Impact radiologique et sanitaire*, Paris, 1996.

Pendant dix ans, des études réalisées sur le site de Tchernobyl même, sur le territoire de l'ex-Union soviétique, mais aussi dans d'autres pays, nous ont permis de recueillir bien d'autres données relatives aux événements, phénomènes et processus intervenus lors de cet accident et à ses conséquences sur l'environnement. Grâce à ce travail, on connaît aujourd'hui assez bien, c'est-à-dire sans trop d'incertitude, l'événement initiateur, l'étendue des dommages, la nature et l'impact du rejet dans l'environnement. Il est généralement admis qu'un accident de ce type a une très faible probabilité de se produire dans un réacteur de type occidental et, que s'il devait néanmoins survenir, ses conséquences ne seraient pas aussi dramatiques que celles de l'accident de Tchernobyl.

L'objectif des paragraphes qui suivent est de mettre l'accident de Tchernobyl en perspective, puis de faire la synthèse des découvertes globales récentes et des conclusions auxquelles est parvenue la communauté scientifique s'agissant du terme source de l'accident de Tchernobyl².

Taux de rejet

L'importance et la chronologie des rejets de radionucléides au cours de l'accident de Tchernobyl ont été, depuis dix ans, amplement étudiées. La destruction rapide du cœur du réacteur a provoqué, dans une première phase, un intense rejet de substances radioactives. La destruction du cœur est le résultat d'une excursion de puissance très rapide due à une mauvaise utilisation du réacteur et aux caractéristiques physiques très défavorables de la filière RBMK. Ce premier rejet de radioactivité contenait des fragments de combustible mais aussi d'autres substances radioactives sous forme d'aérosols, de gaz et de vapeurs. Le fort dégagement d'énergie qui se produisit simultanément augmenta la température du panache de substances radioactives, lui permettant de s'élever haut dans l'atmosphère. Une bonne partie de ces substances, notamment les particules provenant des fragments de combustible se déposa sur le territoire de l'ex-Union soviétique. Toutefois, de grandes quantités de radionucléides, surtout les plus volatils (par exemple les isotopes du césium, de l'iode et du tellure), furent entraînées sur des distances considérables par les mouvements de l'air en haute altitude et se déposèrent sur de vastes étendues hors de ce pays.

Après cette première pointe concomitante à la destruction du cœur, les rejets continuèrent avec une moindre intensité pour atteindre un niveau minimal aux alentours du 29 avril 1986. Des actions à grande échelle furent lancées sur le site du réacteur pour gérer l'accident et en réduire les conséquences, ce qui n'empêcha pas le taux de rejet de remonter et d'atteindre une deuxième pointe. Enfin, vers le 5 mai, soit 9 à 10 jours après le début de l'accident, les taux de rejet de substances radioactives diminuèrent d'un facteur mille environ et se stabilisèrent à un niveau très bas.

Composition et importance des rejets

Les premières estimations des quantités de radionucléides rejetés pendant les premières phases de l'accident et les suivantes, qui furent avancées au cours de la Réunion d'experts techniques pour l'analyse de l'accident de Tchernobyl, en août 1986, reposaient essentiellement sur les mesures intégrées des dépôts au sol sur le territoire de l'ex-Union soviétique. Ces chiffres

2. Les travaux du GTP n° 4 sur le terme source de l'accident de Tchernobyl sont décrits dans le rapport OCDE/GD(96)12 [NEA/CSNI/R(95)24] intitulé "The Chernobyl Reactor Accident Source Term - Development of a Consensus View", rédigé par L. Devell, S. Güntay et D.A. Powers.

ont été révisés à la hausse de façon à prendre en compte les données concernant les dépôts de substances radioactives hors de ce pays ainsi que les résultats des études approfondies du réacteur détruit et des analyses d'échantillons prélevés dans le cœur et le bâtiment réacteur. De toute évidence, la quantité totale de substances radioactives rejetées par l'accident de Tchernobyl ne se limite pas aux dépôts enregistrés sur le territoire de l'ex-Union soviétique. La comparaison minutieuse des estimations initiales et actuelles des rejets montre que le rejet total, dans le monde entier, de nucléides importants du point de vue radiologique, par exemple le césium et l'iode, représente le double, voire le triple des estimations initiales effectuées pour la seule Union soviétique.

On estime que plus de la moitié de l'inventaire initial du cœur en iode a été rejetée par le réacteur endommagé. Compte tenu des dépôts mesurés dans le monde entier et des analyses des débris du cœur à l'intérieur du réacteur, un tiers de la quantité initiale de césium et de tellure dans le cœur a également été libéré.

Par conséquent, on peut dire qu'une quantité égale de ces substances s'est déposée hors de l'ex-Union soviétique et dans ce pays. Les autres substances importantes, telles que les fragments de combustible, en revanche, n'ont que peu franchi les frontières de l'ex-Union soviétique.

Le rejet dans l'environnement de substances radioactives au cours de l'accident de Tchernobyl a ceci d'exceptionnel qu'il contenait une proportion relativement importante de combustible (3,5 pour cent de la totalité). Le rejet de fragments de combustible à la fin de l'accident s'expliquerait par l'oxydation des débris du cœur. Les éléments peu volatils, comme le cérium, le zirconium et les actinides, ont été retenus dans les fragments de combustible. On n'a pas détecté d'importantes quantités de ces éléments en dehors des particules de combustible, ce qui permet de supposer que la quantité de ces éléments relâchée par vaporisation était faible. Certains isotopes radioactifs se sont probablement échappés du combustible fondu ou des fragments de ce combustible, dans les jours qui ont suivi l'accident, sous l'effet de la température élevée ou des réactions chimiques. On explique ainsi la présence de particules presque entièrement composées d'isotopes de ruthénium. Les prélèvements d'air ont montré que les rejets de molybdène et de ruthénium étaient nettement plus importants dans la dernière phase de la période d'émission de radionucléides que les rejets de fragments de combustible. L'oxydation serait donc le mécanisme qui a présidé au rejet de molybdène et de ruthénium sous des formes volatiles.

Si les fragments de combustible ne furent pas entraînés bien loin, la surveillance effectuée en de nombreux emplacements a montré que les produits de fission sous forme de gaz ou d'aérosols furent transportés à des distances considérables du site. Avec la distance, la concentration des produits de fission dans l'atmosphère a tendance à diminuer. Toutefois, on en a enregistré des concentrations importantes sur des zones relativement limitées, mais néanmoins très éloignées, phénomène qui s'explique par les conditions climatiques ou météorologiques locales.

Conclusions

À la demande du CRPPH, le GTP n° 4 a réévalué les rejets de substances radioactives dus à l'accident de Tchernobyl. Les premières estimations effectuées par les Soviétiques en 1986, sur la base de données limitées, ne concernaient que le territoire de l'ex-Union soviétique. Les études réalisées ces dix dernières années ont pris en compte les résultats obtenus depuis par des experts

en Russie et dans d'autres pays. Le GTP n° 4 a mis à jour les estimations de ces rejets en s'appuyant sur les données les plus récentes. Son calcul ne remet toutefois pas en cause les conclusions fondamentales antérieures relatives au terme source et aux conséquences sanitaires de l'accident. Ces dernières feront l'objet de communications spécifiques du CRPPH.