DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE:

CAN LONG-TERM SAFETY BE EVALUATED?

A Collective Opinion

of the

Radioactive Waste Management Committee
OECD Nuclear Energy Agency

and the

International Radioactive Waste Management Advisory Committee
International Atomic Energy Agency

endorsed by the

Experts for the Community Plan of Action
in the Field of Radioactive Waste Management
Commission of the European Communities

Paris, 1991

NUCLEAR ENERGY AGENCY
ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

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) and Mexico (18th May 1994). 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.

REPRINTED 1994

© OECD 1991
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.

FOREWORD

The safe disposal of radioactive waste, particularly as regards the need to protect humans and the environment in the far future, is given particular attention in all countries engaged in nuclear energy production. It is also of concern in many other countries making use of radioactive materials only for medical, industrial, or research purposes.

This report presents a collective opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) and of the International Radioactive Waste Management Advisory Committee of the International Atomic Energy Agency (IAEA) on the methodology and means for assessing the safety of radioactive waste disposal practices and concepts. It has been endorsed by the experts for the Community Plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management of the Commission of the European Communities (CEC).

This report is concerned with radioactive waste disposal. It should be stressed, however, that there are many other nonradioactive types of hazardous wastes with real or potential environmental impacts. Radioactive wastes are just a part of the overall waste management and disposal problems confronting society today.

Also available

VALIDATION OF GEOSPHERE FLOW AND TRANSPORT MODELS (GEOVAL). Proceedings of Stockholm Symposium, 1990.
(In preparation)

DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTES : REVIEW OF SAFETY ASSESSMENT METHODS. 1990.
(In preparation)

SAFETY ASSESSMENT OF RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES. Proceedings of an International Symposium organised by NEA, IAEA and CEC, 1989.
ISBN 92-64-03334-3 £64 US$112 FF530 DM205 ¥19000

RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL : IN SITU EXPERIMENTS. Proceedings of the 3rd NEA/SKB Symposium on the International Stripa Project, Stockholm, 1989.
ISBN 92-64-03333-5 £25 US$45 FF210 DM82 ¥7400

Prices charged at the OECD Bookshop.

The OECD CATALOGUE OF PUBLICATIONS and supplements will be sent free of charge on request addressed either to OECD Publications Service, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, or to the OECD Distributor in your country.

CONTENTS

	Page
Executive Summary	6
The Need to Evaluate Long-Term Safety	8
Points of Consensus	10
What can be Expected from Safety Assessments	11
Judging Safety	12
Conclusions: The International View	14
ANNEXES	
I : Summary of the State-of-the-Art in Safety Assessment Methods	15
• *General Approach*	15
• *Scenario Development*	16
• *Model Development and Application*	16
• *Integrated Assessments*	17
• *Uncertainty and Sensitivity Analysis*	17
• *Confidence Building*	18
• *Regulatory Criteria for Disposal*	18
• *Documentation of Assessments*	19
II : Bibliography	20
III : List of Experts	21

EXECUTIVE SUMMARY

Radioactive waste disposal systems are designed to isolate the waste from humans and the environment for the necessary times to ensure that no potential future releases of radioactive substances to the environment would constitute an unacceptable risk. Such systems have been built at or near the surface for low-level and short-lived wastes, and are widely envisaged to be built deep underground in geological formations for high-level and long-lived wastes.

The long-term safety of any hazardous waste disposal system must be convincingly shown prior to its implementation. For radioactive wastes, safety assessments over timescales far beyond the normal horizon of social and technical planning have already been conducted in many countries. These assessments provide the principal means to investigate, quantify, and explain long-term safety of each selected disposal concept and site for the appropriate authorities and the public. Such assessments are based on four main elements: definition of the disposal system and its environment, identification of possible processes and events that may affect the integrity of the disposal system, quantification of the radiological impact by predictive modelling, and description of associated uncertainties.

The NEA Radioactive Waste Management Committee and the IAEA International Radioactive Waste Management Advisory Committee have carefully examined *the current scientific methods* for safety assessments of radioactive waste disposal systems, as briefly summarised in this report. The Committees have also reviewed *the experience now available* from using safety assessment methods in many countries, for different disposal concepts and formations, and in the framework of both nationally and internationally conducted studies, as referenced in this report.

Following this review, the NEA Radioactive Waste Management Committee and the IAEA International Radioactive Waste Management Advisory Committee

- ***Recognise*** that a correct and sufficient understanding of proposed disposal systems is a basic prerequisite for conducting meaningful safety assessments,

- *Note* that the collection and evaluation of data from proposed disposal sites are the major tasks on which further progress is needed,

- ***Acknowledge*** that significant progress in the ability to conduct safety assessment has been made,

- ***Acknowledge*** that quantitative safety assessments will always be complemented by qualitative evidence, and

- ***Note*** that safety assessment methods can and will be further developed as a result of ongoing research work.

Keeping these considerations in mind, the two Committees

- ***Confirm*** that safety assessment methods are available today to evaluate adequately the potential long-term radiological impacts of a carefully designed radioactive waste disposal system on humans and the environment, and

- ***Consider*** that appropriate use of safety assessment methods, coupled with sufficient information from proposed disposal sites, can provide the technical basis to decide whether specific disposal systems would offer to society a satisfactory level of safety for both current and future generations.

This Collective Opinion is *endorsed* by the CEC Experts for the Community Plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management.

THE NEED TO EVALUATE LONG-TERM SAFETY

More than ten years have passed since the first comprehensive long-term safety assessments of well-defined radioactive waste disposal systems appeared. Large resources are being devoted to disposal system development, site investigation studies, and safety assessments. For low-level and short-lived wastes, there already exist operating disposal systems in some countries, with new repositories planned or under construction in others. For high-level and long-lived wastes, the process of licensing and implementation for repositories has started in some countries, although the first high-level waste repositories are not expected to begin operation until about twenty years from now.

The practical objective of any radioactive waste disposal system is isolation of the wastes from humans and the environment for the necessary times to ensure that no potential future releases of radioactive substances to the environment would constitute an unacceptable risk. In the planning and implementation of projects for final disposal, two basic premises have been stressed. First, the potential radiological long-term hazard is explicitly acknowledged and the responsibility of ensuring that future generations are protected at a level at least equal to that considered acceptable for ourselves is openly accepted. Second, as a direct consequence of this commitment, it is recognised that the long-term safety of the solution offered must be convincingly shown prior to disposal.

These issues were first addressed by the NEA Radioactive Waste Management Committee in a 1985 report. In particular, with regard to the disposal of long-lived radioactive wastes, the Committee expressed the views that deep geological disposal with a passive system of containment barriers is a feasible approach that could provide adequate safety, and that such disposal should eventually replace storage requiring continued maintenance and surveillance by society.

But what of the second issue, that of showing safety? In radioactive waste management, attempts have been made to analyse the safety of disposal over timescales far beyond the normal horizon of social and technical planning. Debate has arisen, however, on the feasibility of such analyses, and scepticism is often encountered about the validity of their results. In particular, three important questions arise:

- Can the behaviour of the disposal system and its potential radiological impacts on humans and the environment be sufficiently well understood over many thousands of years (for high-level and long-lived wastes), or even over hundreds of years (for low-level and short-lived wastes)?

- Can specialists and the competent authorities be convinced that the predicted behaviour is representative of what might actually happen?

- Can the potential radiological impacts and the means of estimating these impacts be illustrated transparently for a wider audience?

The need to develop capabilities to respond to these questions has stimulated the growth of the discipline of safety assessment over the past fifteen or so years. The objective of this document is to distill into a concise and easily accessible form the consensus that has emerged on the approach and practical methods for assessing the safety of radioactive waste disposal. This objective is achieved in what follows in three ways:

- By pointing out major overall issues on which wide international consensus has been attained;

- By explaining how the quantitative results of long-term safety assessments are generally interpreted;

- By discussing briefly several key issues influencing the acceptability of assessment results.

POINTS OF CONSENSUS

Safety assessment can be defined as an analysis of the future behaviour of the overall waste disposal system and of its potential impacts on humans and the environment, followed by comparison of the results with appropriate safety standards. Over the years, increasing international consensus has been reached on the role of and framework for safety assessment. Three aspects in particular of this consensus can be stressed:

- First, it is recognised that the future behaviour of the disposal system must be understood well enough to assure that no harmful releases of radioactive substances to the environment are likely to occur, even if it is not considered necessary (or possible) to predict this behaviour in every detail. Safety assessments in the broad sense provide the principal means to gain this understanding and to convey it to responsible authorities and the interested public.

- Second, wide international consensus exists regarding the general approach for safety assessments (see Annex 1 for details), as well as the procedures for obtaining data, developing and using models, and performing and reviewing safety assessments. It is clearly understood that safety assessments require effective use of predictive modelling methods and a wide range of scientific information that describes the disposal system and its possible evolution.

- Third, it is recognised that safety assessments must form an integral part of repository development programmes at an early stage of research, and throughout the course of siting, design, construction, operation, and decommissioning and final sealing of radioactive waste disposal systems. Prior to licensing a particular site and repository design, safety assessments must proceed iteratively with disposal system siting and development, to determine if further information is needed and, if so, what type of information is needed. Safety assessments form a crucial part of the licensing documentation for disposal systems.

WHAT CAN BE EXPECTED FROM SAFETY ASSESSMENTS

Absolute proof of continuing safe behaviour is impossible for all technical systems, including radioactive waste disposal systems. What must be achieved is a convincing and indirect demonstration that the proposed disposal system provides a sufficient level of safety to both current and future generations. Accordingly, what is expected and sought is a scientific and regulatory process that properly considers those factors that might significantly affect safety, and in that way provides the basis to decide if the proposed waste disposal system can be considered safe enough in the long term.

For this purpose, calculations are performed to estimate potential releases of radionuclides from the waste repository, and the possible radiation dose consequences of these releases for individuals assumed to be living near the site at some time in the future. Two important observations can be made concerning these calculations:

- Releases of radionuclides from a waste repository are postulated to occur under expected circumstances involving the gradual degradation of the safety barriers of the system, and under less likely circumstances involving a disruption to the series of safety barriers. Consequences must, therefore, be seen in the light of *how severe* they may be and *how likely* they are to occur, in order to assess the actual risks.

- Calculations of doses resulting from releases of radioactivity into the environment several thousands of years or more from now are generally based on current living habits. Any estimate of far future living conditions would be largely speculative. Such calculations are, therefore, generally viewed as an illustration of what the doses would be if the release occurred today, rather than as a prediction of the actual dose to some human living in the far future.

Thus, the assessed long-term radiological consequences of disposal systems are normally considered as *indicators of safety* that can be compared to safety standards.

JUDGING SAFETY

The current state-of-the-art in safety assessment methods is briefly summarised in Annex 1 of this report. There are, however, three topical issues that deserve to be highlighted here:

- The need for integrated assessments,
- The consideration of uncertainties in assessment results, and
- The methods for building confidence in assessment results.

The ultimate goal of assessments of repository behaviour is to determine possible radiological consequences to humans and the environment through an *integrated and systematic approach*. Such an assessment describes the characteristics of a specific disposal system, discusses the important aspects of the expected and predicted long-term evolution, and quantifies - to the extent possible - the impacts of the overall system in terms of radiological risks. All factors that might significantly affect safety are rigorously considered and clearly documented. Some phenomena taken into account in the course of the assessment may prove to be more or less important to the final results, as shown by *sensitivity analyses*. Emphasis is, therefore, placed on the coherent analysis and integration of all relevant safety elements.

Uncertainties are and will always be associated with assessment results. Some uncertainties may be quantifiable - for example, those that reflect the variability inherent in natural systems. Other uncertainties, however, may not be quantifiable in the same way - for example, those inherent in predicting certain future events that may disrupt the integrity of the disposal system. Formal use of expert judgement may be required to provide bounds on uncertainties, particularly for the latter type of uncertainty. An important aim of site characterisation and research concerns understanding of uncertainties and, whenever possible, quantification of these uncertainties, so as to be able to reduce the overall uncertainty in the results of integrated assessments. In this way, a sufficient basis for decisions may be provided.

The treatment of uncertainties in safety assessments is, however, part of a wider issue: the necessity of *building confidence* in disposal system safety. Confidence is achieved by many means. For example, confidence is enhanced through the

establishment of appropriate quality assurance and quality control procedures for conducting safety assessments, as well as for the supporting research and site investigations. Confidence is also built through the process of assuring (or validating) that the predictive models used in safety assessments adequately represent the behaviour of the real system. It is impossible to compare directly predicted behaviour with actual behaviour of the disposal system over the long periods for which safety must be shown.To obtain such assurance indirectly requires a systematic evaluation of modelling results against data from experiments in laboratories and in the field, as well as against data from studies of representative natural analogues, such as uranium deposits. Finally, expert judgement and peer review are also part of the confidence-building process. All of these activities, often conducted at international level, will need to be further supported in order to contribute to the enhanced credibility of assessment results.

The safety of a waste disposal system is judged, therefore, only after a clear presentation of the information obtained in an integrated assessment, after due consideration of the uncertainties associated with assessment results, and after a critical review by the competent regulatory authorities and others legally involved in the process. National regulatory systems include such requirements.

CONCLUSIONS : THE INTERNATIONAL VIEW

International co-operation - through information exchange and joint projects - plays a substantial role in the development of methods for safety assessment. In particular, international co-operation promotes periodic and systematic reviews of the state-of-the-art in this field, and contributes to informed and objective debate among specialists.

Following such a review, the NEA Radioactive Waste Management Committee and the IAEA International Radioactive Waste Management Advisory Committee

- ***Recognise*** that a correct and sufficient understanding of proposed disposal systems is a basic prerequisite for conducting meaningful safety assessments,

- ***Note*** that the collection and evaluation of data from proposed disposal sites are the major tasks on which further progress is needed,

- ***Acknowledge*** that significant progress in the ability to conduct safety assessment has been made,

- ***Acknowledge*** that quantitative safety assessments will always be complemented by qualitative evidence, and

- ***Note*** that safety assessment methods can and will be further developed as a result of ongoing research work.

Keeping these considerations in mind, the two Committees

- ***Confirm*** that safety assessment methods are available today to evaluate adequately the potential long-term radiological impacts of a carefully designed radioactive waste disposal system on humans and the environment, and

- ***Consider*** that appropriate use of safety assessment methods, coupled with sufficient information from proposed disposal sites, can provide the technical basis to decide whether specific disposal systems would offer to society a satisfactory level of safety for both current and future generations.

This Collective Opinion is *endorsed* by the CEC Experts for the Community Plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management.

Annex 1

SUMMARY OF THE STATE-OF-THE-ART IN SAFETY ASSESSMENT METHODS

General Approach

The general approach to safety assessment consists of a number of interrelated elements:

- Broad identification of the possible future evolution of the selected disposal system (scenario development);
- Development and application of appropriate models;
- Evaluation of potential radiological consequences in an integrated assessment;
- Uncertainty and sensitivity analyses;
- Validation and review of all components of the assessment;
- Comparison of results with criteria;
- Documentation of the assessment.

Feedback between these elements and iteration through the full set of elements are important aspects of safety assessment.

Although wide international consensus exists on this general approach, it is important to note that different specific techniques are being used depending upon the purpose of an assessment and the type of safety criteria to be met. In addition, the models and data being used for safety assessment differ depending upon waste-specific, concept-specific, and site-specific conditions. Finally, identification and characterisation of the wastes to be disposed of, and of the disposal system as a whole, are necessary bases for meaningful safety assessment.

Scenario Development

Scenario development, the starting point for safety assessments, is concerned with defining the broad range of possible futures to be considered in the subsequent modelling and consequence calculations. Human imagination and scientific judgement coupled with existing knowledge of natural systems and man-made barriers form the basis of scenario development. Over the last few years, scenario development methods have been substantially improved by the use of approaches that are systematic and transparent. Extensive lists of phenomena (for example, faulting and seismicity, or erosion) that have to be initially considered in safety assessments have now been developed in many studies, and only a few new phenomena have been identified as potentially important in recent years, and these on a site-specific or concept-specific basis.

One particular area that has received greater attention recently is assessment of human intrusion scenarios. Work on the basic approach for consideration of human intrusion, and on the preservation of information about the site and the content of the repository is being undertaken.

If required by regulation or otherwise undertaken, the estimation of likelihood of occurrence of the final set of scenarios chosen for detailed consequence analyses can be a particularly difficult element of safety assessments. Although several different techniques are used, depending on the type of future events and processes being considered and the data available, all of them rely at least to some extent (and some quite heavily) on the use of expert judgement.

Model Development and Application

The necessity of using predictive models to assess potential radiological consequences in safety assessments is well recognised, and the general procedures for development of models are well accepted. The most important modelling areas were identified a long time ago, and predictive models have been developed in these areas. Substantial improvements toward more realism and detail have been made over the years. There are models available, at different levels of detail and realism, to evaluate and quantify the effects of the key processes determining the performance of radioactive waste disposal systems. Further development is still justified in some areas because better modelling could clarify or reduce uncertainties associated with assessment results. It could also contribute to further improvements in disposal system design.

In recent years, special attention has been given to the interdependence between model development and corresponding data gathering efforts. In addition, a main area of ongoing work is the coupling of models for specific processes into larger integrated

models and the simplifications needed to make them practical tools for safety assessments.

A sound basic understanding of the relevant physical and chemical properties of the system's constituents and their evolution remains a main prerequisite for successful modelling.

Integrated Assessments

The ultimate goal of data gathering, scenario development, and predictive modelling is an integrated assessment describing the characteristics of the disposal system and quantifying the performance of the overall system in terms of radiological safety as a function of time. Many integrated assessments of both real and conceptual repositories in various host formations have been made over the years, indicating that it is possible to site and build repositories that can be considered safe for humans and the environment today and in the future (see the CEC/IAEA/NEA Symposium Proceedings for further details and references).

Safety assessment models tend to be of two complementary types: detailed research models and simplified system models. The detailed research models and their results are needed to evaluate design and engineering options, and are used to provide a defensible basis for excluding processes not important to safety in the more robust and simplified modelling. In the robust bounding approach, scenarios, models, and parameter values are chosen conservatively (that is, pessimistically). Thereby, the assessments are simplified and discussion of some uncertainties not significant to system safety are avoided in the licensing procedure.

Uncertainty and Sensitivity Analysis

Uncertainties are and will always be associated with assessment results. Uncertainties can partly be reduced by further model development and by collecting additional and more accurate data, but they can never be completely eliminated because they reflect a genuine variability in natural systems. Statistical methods are being increasingly relied on when extensive measurements of the needed data are unfeasible. Uncertainties sometimes also arise from a limited understanding of controlling processes.

As part of integrated safety assessments, sensitivity studies provide guidance on which areas uncertainties most need to be reduced. This guidance is specific with regard to disposal site and concept, and is being used to direct national resources for research and development to areas where they are most needed. In addition, the information on uncertainties is being provided to those responsible for repository design, enabling possible improvements to the design and siting of the repository.

Confidence Building

The ultimate objective of safety assessments is to provide a basis for well-founded decisions about radioactive waste disposal systems. To this end, it is necessary that scientists, safety assessors, regulators, and those involved in or concerned with the decision-making process have confidence in the information, insights, and results provided by safety assessments. The importance of this topic is reflected in the main text, and only a few additional remarks concerning model validation are given here.

Model validation is the process of assuring that the models used adequately represent the real system behaviour, and efforts have been intensified during recent years in this area. Validation of long-term predictions must focus on the adequacy of modelling the processes that may define system performance under a reasonable variety of possible futures. There is no way to validate system performance predictions over long times, but the adequacy of specific aspects of the modelling may be supported through a variety of laboratory, field, and natural analogue studies. Several international co-operative projects have been established to investigate the possibilities for validation of the models used within safety assessments.

Validation needs depend upon the disposal concept. For some concepts, satisfactory validation can be done only with the help of *in-situ* studies at the potential disposal site. Increasing co-operation is apparent between those designing the repository and the relevant engineered barriers, and those studying the possibility of validating the models to be used in assessing the safety of the disposal system.

Regulatory Criteria for Disposal

In a final licensing assessment, the results of safety assessments are evaluated in the context of the established regulatory standards and criteria. International criteria for the radiological protection of individuals and populations have been used as the basis for development of national long-term safety criteria for radioactive waste disposal systems in practically all countries. Some countries currently have detailed regulations in place for radioactive waste disposal, whereas others have specified general radiological protection objectives, without necessarily as yet having established specific requirements for final disposal of wastes. Both on a national and an international basis, further work is underway to develop specific criteria for the long-term safety of radioactive waste disposal systems, in particular in order to have such criteria available in due course for the licensing of high-level waste repositories.

The details of safety assessment approaches, methods, and data requirements are dependent upon and influenced by the detailed criteria applied. Yet even where the detailed formulation of specific safety standards may differ between countries for legal

or historical reasons, it is evident that the same general type of safety assessment work is needed and is undertaken at some stage of the regulatory process.

Documentation of Assessments

The capability to make relatively detailed assessments has increased rapidly with the advance in models, and with the growing capacities of computers and data base systems. It is recognised, however, that clear presentation of the information obtained in an integrated assessment is an increasingly important and challenging task as ever more advanced and complex technical methods are developed. Work is ongoing in this area.

Annex 2

BIBLIOGRAPHY

1. Disposal of Radioactive Wastes: Review of Safety Assessment Methods. OECD/NEA, Paris, 1990.

2. Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories. Proceedings of a joint CEC/IAEA/NEA International Symposium. OECD/NEA, Paris, 1990.

3. Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High-Level Radioactive Wastes. Safety Standard No. 99, IAEA, Vienna, 1989.

4. Feasibility of Disposal of High-Level Radioactive Waste into the Seabed. Volumes 1-8, OECD/NEA, 1988.

5. PAGIS. Performance Assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste. EUR 11775 EN, CEC, 1988.

6. Geological Disposal of Radioactive Waste - In Situ Research and Investigations in OECD Countries. OECD/NEA, Paris 1988.

7. Technical Appraisal of the Current Situation in the Field of Radioactive Waste Management. A Collective Opinion by the Radioactive Waste Management Committee. OECD/NEA, Paris, 1985.

8. Long-Term Radiation Protection Objectives for Radioactive Waste Disposal. OECD/NEA, Paris, 1984.

9. Concepts and Examples of Safety Analyses in Continental Geological Formations. Safety Series No. 58, IAEA, Vienna, 1983.

10. Safety Assessment for the Underground Disposal of Radioactive Waste. Safety Series No. 56, IAEA, Vienna, 1981.

Annex 3

LIST OF EXPERTS

This list includes the names of the experts of

- The NEA Radioactive Waste Management Commmittee (RWMC),
- The IAEA International Radioactive Waste Management Advisory Committee (INWAC), and
- The CEC Experts for the Community Plan of Action in the Field of Radioactive Waste Management,

who took part in the deliberations concerning this document.

Australia	Dr. A. JOSTSONS, Australian Nuclear Science and Technology Organization.
	Dr. P. MOORE, Dr. G. DURANCE, Australian High Commission, London.
Belgium	Dr. P. DEJONGHE, Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire.
	Dr. E. DETILLEUX, Mr. H. HEREMANS, Organisme National des Déchets Radioactifs et des Matières Fissiles (ONDRAF/NIRAS).
	Mr. J.M. LAMBOTTE, Ministère de la Santé Publique et de l'Environnement, Service de Protection contre les Radiations Ionisantes.
Brazil	Mr. H.R. FRANZEN, National Nuclear Energy Commission (CNEN).
Canada	Mr. K. BRAGG, Waste Management Division, Atomic Energy Control Board (AECB).
	Dr. D.F. TORGERSON, Dr. H. TAMM, Atomic Energy of Canada Limited (AECL).
China	Mr. D. WANG, Committee on Science and Technology, Institute of Atomic Energy.
Denmark	Mr. K. BRODERSEN, Risø National Laboratory.
	Mr. S. HOE, Civil Defense Authorities, Inspectorate for Nuclear Facilities.

Egypt	Mr. H.F. ALY, Hot Laboratory Centre.
Finland	Mrs. M. HOVI, Mrs. S. VILKAMO, Nuclear Energy Division, Energy Department, Ministry of Trade and Industry.
	Mr. H. KOPONEN, Department of Nuclear Safety, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety.
	Dr. S. VUORI, Nuclear Engineering Laboratory, Technical Research Centre of Finland.
France	Mr. A. BARBREAU, Mme A.M. CHAPUIS, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, Commissariat à l'Energie Atomique.
	Mme L.S. JOLY, Comité Technique Interministériel pour Euratom.
	Mr. J. LEFEVRE, Direction du Cycle du Combustible, Commissariat à l'Energie Atomique.
	Mr. Y. MARQUE (Chairman, CEC Expert Group), Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA).
	Mr. A. MICHEL, Secrétariat Général du Comité Interministériel de la Sécurité Nucléaire.
Germany	Dr. R. KROEBEL, Nuclear Research Centre, Karlsruhe.
	Dr. D. LUMMERZHEIM, Waste Management Division, Federal Ministry for Research and Technology (BMFT).
	Prof. Dr. H. RÖTHEMEYER, Federal Bureau for Radiation Protection (BfS).
	Dr. R. SCHMIDT, Federal Ministry for the Environment, Nature Protection and Reactor Safety.
Greece	Mr. S. AMARANTOS, Nuclear Research Centre Demokritos.
Hungary	Mr. O. PAVLIK, Institute of Isotopes, Hungarian Academy of Sciences.
India	Mr. C.V. SUNDARAM, Department of Atomic Energy, Nuclear Fuel Complex.
Ireland	Mr. F. TURVEY, Nuclear Energy Board.
Italy	Mr. A. BRONDI, Mr. P. RISOLUTI, National Committee for Research and Development of Nuclear and Alternative Energy Sources (ENEA).
	Mr. A.G. FACCHINI, Nuclear Engineering Institute, Polytechnic University of Milan.
	Mr. T. MARZULLO, National Electric Energy Agency (ENEL).

Japan	Mr. S. HOSHIBA, Mr. A. SATO, Mr. Y. YAMAGUCHI, Atomic Energy Bureau, Science and Technology Agency (STA).
	Mr. S. MURAOKA, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI).
	Mr. M. YAMAMOTO, Mr. I. NODA, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC).
Netherlands	Mr. H. CORNELISSEN, Ministry of Housing, Physical Planning and Environment.
	Dr. E.D.A. DANTUMA, Electricity Department, Ministry of Economic Affairs.
	Mr. J. VRIJEN, Central Agency for Radioactive Waste (COVRA).
Norway	Mr. G.C. CHRISTENSEN, Health and Safety Department, Institute for Energy Technology.
Portugal	Mr. J.M. PEREIRA GONCALVES, Mr. A. SEVERO, Office of Nuclear Protection and Safety, National Laboratory for Engineering and Industrial Technology.
Spain	Mr. C. MELCHES, Mr. A. RODRIGUEZ BECEIRO, Spanish Radioactive Waste Management Company (ENRESA).
	Mr. A. URIARTE, Energy Research Center (CIEMAT).
	Mr. J.M. VALVERDE, Ministry of Industry and Energy.
Sweden	Mr. P.-E. AHLSTRÖM, Mr. T. PAPP, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB).
	Mr. S. NORRBY, Division of Nuclear Waste, Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI).
	Dr. J.O. SNIHS, National Institute of Radiation Protection (SSI).
Switzerland	Dr. H.P. ALDER, Department of Nuclear Energy, Paul-Scherrer Institute.
	Dr. C. McCOMBIE, National Cooperative for the Storage of Radioactive Waste (NAGRA).
	Dr. U. NIEDERER, Dr. J. VIGFUSSON, Nuclear Safety Inspectorate, Federal Office of Energy.
	Dr. R. ROMETSCH (INWAC Chairman), National Cooperative for the Storage of Radioactive Waste (NAGRA).
United Kingdom	Dr. F.S. FEATES, Dr. A.G. DUNCAN, Mr. M.W. JONES, Her Majesty's Inspectorate of Pollution, Department of the Environment.
	Dr. R.H. FLOWERS (RWMC Chairman), AEA Technology.

	Mr. E.C. REAVLEY, Scottish Development Department, Environmental Protection Division.
United States	Dr. J. BARTLETT, Mr. T.H. ISAACS, Office of Civilian Radioactive Waste Management, Department of Energy.
	Mr. R.M. BERNERO, Mr. R.E. BROWNING, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Nuclear Regulatory Commission.
	Mr. C. COOLEY, Office of Environmental Restoration and Waste Management, Department of Energy.
	Mr. A.E. VAN LUIK, Pacific Northwest Laboratory.
USSR	Academician A. NIKIFOROF, All-Union Research and Scientific Institute of Inorganic Materials.
Zambia	Mr. G. CHISHIMBA, National Council for Scientific Research.
CEC	Mr. S. FINZI, Mr. F. GIRARDI, Mr. S. ORLOWSKI, Directorate General for Science, Research and Development, Commission of the European Communities.
IAEA	Mr. D.E. SAIRE, Division of Nuclear Fuel Cycle and Waste Management, International Atomic Energy Agency.
NEA	Mr. J.-P. OLIVIER, Dr. D.A. GALSON, Mr. C. THEGERSTRÖM, Division of Radiation Protection and Waste Management, OECD Nuclear Energy Agency.

ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS :

PEUT-ON ÉVALUER LA SÛRETÉ À LONG TERME ?

Opinion collective

du

Comité de la gestion des déchets radioactifs
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire

et du

Comité consultatif international sur la gestion des déchets radioactifs
Agence internationale de l'énergie atomique

entérinée par les

Experts chargés du Plan d'action de la Communauté
dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs
Commission des Communautés Européennes

Paris, 1991

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

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) et le Mexique (18 mai 1994). 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.

REPRINTED 1994

© OCDE 1991
Les demandes de reproduction ou de traduction totales ou partielles
de cette publication doivent être adressées à :
M. le Chef du Service des Publications, OCDE
2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, France.

AVANT-PROPOS

Dans tous les pays dotés d'un parc électronucléaire l'évacuation des déchets radioactifs dans des conditions de sûreté fait l'objet d'une attention particulière, compte tenu notamment de la nécessité d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement dans un avenir lointain. Il en est de même dans bien d'autres pays où les matières radioactives ne sont utilisées qu'à des fins médicales et industrielles ou dans la recherche.

Le présent rapport expose l'opinion collective du Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire (OCDE/AEN) et du Comité consultatif international de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) sur la gestion des déchets radioactifs au sujet de la méthodologie et des moyens permettant d'analyser la sûreté des pratiques et concepts d'évacuation des déchets radioactifs. Elle a été entérinée par les experts de la Commission des Communautés Européennes (CCE) chargés du Plan d'action de la Communauté dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

Ce rapport a trait à l'évacuation des déchets radioactifs. Toutefois, il y a lieu de souligner que de nombreux types de déchets dangereux autres que radioactifs ont - ou peuvent avoir - des incidences sur l'environnement. Les déchets radioactifs ne représentent qu'une partie de l'ensemble des problèmes de gestion et d'évacuation des déchets auxquels la société est confrontée à l'heure actuelle.

Egalement disponible

VALIDATION DES MODELES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT DANS LA GEOSPHERE (GEOVAL). Compte rendu du colloque de Stockholm, 1990.
(En préparation)

L'EVACUATION DES DECHETS RADIOACTIFS : EXAMEN DES METHODES D'ANALYSE DE SURETE. 1990.
(En préparation)

L'ANALYSE DE LA SURETE DES DEPOTS DE DECHETS RADIOACTIFS. Colloque international organisé par l'AEN, l'AIEA et la CCE, 1989.

ISBN 92-64-03334-3	£64	US$112	FF530	DM205	¥19000

EVACUATION DES DECHETS RADIOACTIFS : EXPERIENCES IN SITU. Compte rendu du 3e Symposium AEN/SKB sur le Projet international de Stripa, Stockholm, 1989.

ISBN 92-64-03333-5	£25	US$45	FF210	DM82	¥7400

Prix de vente au public dans la librairie de Siège de l'OCDE.

LE CATALOGUE DES PUBLICATIONS et ses suppléments seront envoyés gratuitement sur demande adressée soit au Bureau de Vente des Publications de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, soit au dépositaire des publications de l'OCDE de votre pays.

TABLE DES MATIERES

	Page
Résumé	6
Nécessité d'évaluer la sûreté à long terme	8
Eléments de consensus	10
Qu'attendre des analyses de sûreté ?	11
Appréciation de la sûreté	12
Conclusions : Le point de vue international	14
ANNEXES	
I. Résumé de l'état des connaissances relatives aux méthodes d'analyse de la sûreté	16
• *Démarche générale*	16
• *Elaboration de scénarios*	17
• *Elaboration et application des modèles*	17
• *Analyses intégrées*	18
• *Analyses des incertitudes et de sensibilité*	18
• *Moyens de susciter la confiance*	19
• *Critères réglementaires applicables à l'évacuation*	20
• *Documentation à l'appui des analyses*	20
II. Bibliograhie	21
III. Liste des experts (voir texte anglais, page 21).	18

RESUME

Les systèmes d'évacuation des déchets radioactifs sont conçus pour isoler les déchets des êtres humains et de l'environnement pendant les périodes de temps requises pour s'assurer qu'aucune libération de substances radioactives susceptibles de se produire à l'avenir dans l'environnement ne constituera un risque inacceptable. De tels systèmes ont été construits à la surface ou à proximité de cette dernière dans le cas des déchets de faible activité à vie courte, cependant qu'il est généralement envisagé de les construire à grande profondeur dans des formations géologiques dans le cas des déchets de haute activité à vie longue.

Il convient d'établir de façon convaincante la sûreté à long terme de tout système d'évacuation de déchets dangereux préalablement à sa mise en oeuvre. En ce qui concerne les déchets radioactifs, des analyses de sûreté portant sur des échelles de temps bien supérieures à celles normalement retenues pour la planification sociale et technique ont déjà été effectuées dans de nombreux pays. Ces analyses offrent le principal moyen d'étudier, de quantifier et d'expliquer aux autorités compétentes et au public la sûreté à long terme de chacun des concepts et sites d'évacuation choisis. Ces analyses reposent sur quatre principaux éléments : la définition du système d'évacuation et de son environnement, la détermination des processus et événements susceptibles d'influer sur l'intégrité du système d'évacuation, la quantification des incidences radiologiques grâce à la modélisation prévisionnelle et la description des incertitudes connexes.

Le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN et le Comité consultatif international de l'AIEA sur la gestion des déchets radioactifs ont étudié attentivement *les méthodes scientifiques actuelles* permettant d'analyser la sûreté des systèmes d'évacuation des déchets radioactifs, telles qu'elles sont brièvement résumées dans le présent rapport. Ces Comités ont également examiné *l'expérience actuellement disponible* par suite de l'application de méthodes d'analyse de sûreté dans de nombreux pays, dans le cas de différents concepts d'évacuation et formations réceptrices, et dans le cadre des études menées à l'échelon tant national qu'international, dont il est fait mention dans ce rapport.

A la suite de cet examen, le Comité de l'AEN et le Comité consultatif international de l'AIEA sur la gestion des déchets radioactifs

- ***Reconnaissent*** qu'une connaissance correcte et suffisante des systèmes d'évacuation proposés est une condition préalable essentielle à la réalisation d'analyses de sûreté valables ;

- ***Notent*** que la collecte et l'évaluation des données relatives aux sites d'évacuation proposés constituent les principales tâches qui demandent à être poussées plus avant ;

- ***Reconnaissent*** que l'aptitude à effectuer des analyses de sûreté a sensiblement progressé ;

- ***Reconnaissent*** que les analyses quantitatives de sûreté s'assortiront toujours d'éléments d'appréciation qualitatifs ; et

- ***Notent*** que les méthodes d'analyse de sûreté pourront être et seront encore perfectionnées à la suite des travaux de recherche en cours.

Compte tenu de ces considérations, les deux Comités :

- ***Confirment*** que l'on dispose à l'heure actuelle de méthodes d'analyse de sûreté permettant d'évaluer de façon adéquate les incidences radiologiques potentielles à long terme, sur les êtres humains et l'environnement, d'un système d'évacuation des déchets radioactifs soigneusement conçu ; et

- ***Estiment*** que l'utilisation judicieuse des méthodes d'analyse de sûreté, assortie d'informations suffisantes au sujet des sites d'évacuation proposés, peut constituer la base technique permettant de déterminer si des systèmes d'évacuation spécifiques offriraient à la société un niveau de sûreté satisfaisant pour les générations tant actuelles que futures.

Cette opinion collective est *entérinée* par les Experts de la CCE chargés du Plan d'action de la Communauté dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

NECESSITE D'EVALUER LA SURETE A LONG TERME

Voici plus de dix ans que les premières analyses globales de la sûreté à long terme de systèmes bien définis d'évacuation des déchets radioactifs ont fait leur apparition. D'importantes ressources sont consacrées à la mise au point de systèmes d'évacuation, à la réalisation d'études de sites et à l'exécution d'analyses de sûreté. Dans le cas des déchets de faible activité à vie courte, des systèmes d'évacuation sont déjà en exploitation dans certains pays, de nouveaux dépôts étant à l'état de projet ou en construction dans d'autres pays. Dans le cas des déchets de haute activité à vie longue, le processus d'autorisation et de mise en oeuvre de dépôts a été entamé dans certains pays, encore que l'on ne s'attende pas à ce que les premiers dépôts de déchets de haute activité entrent en service avant une vingtaine d'années environ.

Tout système d'évacuation des déchets radioactifs a pour objectif pratique d'isoler les déchets des êtres humains et de l'environnement pendant les périodes de temps requises pour s'assurer qu'aucune libération de substances radioactives susceptible de se produire à l'avenir dans l'environnement ne constituera un risque inacceptable. Lors de la planification et de la mise en oeuvre des projets d'évacuation définitive, l'accent est mis sur deux principes fondamentaux. D'une part, le risque radiologique potentiel à long terme est explicitement reconnu et l'on accepte ouvertement la responsabilité de veiller à ce que le niveau de protection des générations futures soit au moins égal à celui jugé admissible pour les générations actuelles. De l'autre, s'agissant d'une conséquence directe de cet engagement, on s'accorde à reconnaître que la sûreté à long terme de la solution offerte doit être établie de façon convaincante préalablement à l'évacuation.

Ces questions ont été abordées pour la première fois par le Comité AEN de la gestion des déchets radioactifs dans un rapport paru en 1985. En ce qui concerne notamment l'évacuation des déchets radioactifs à vie longue, le Comité a exprimé l'opinion que le dépôt dans des formations géologiques profondes au centre d'un système passif de barrières de confinement constitue une méthode applicable dans la pratique qui pourrait fournir un degré adéquat de sûreté, et que ce mode d'évacuation devrait en fin de compte remplacer le stockage qui exige de la société qu'elle exerce une maintenance et une surveillance continues.

Mais qu'en est-il du deuxième principe, qui vise à établir la sûreté des systèmes ? Dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, on s'est efforcé d'analyser la sûreté de l'évacuation sur des échelles de temps bien supérieures à celles

normalement retenues pour la planification sociale et technique. Cependant, la faisabilité de ces analyses a donné matière à contestation et la validité de leurs résultats suscite souvent un certain scepticisme. En particulier, trois questions importantes se posent :

- Le comportement du système d'évacuation et ses incidences radiologiques potentielles sur les êtres humains et l'environnement peuvent-ils être suffisamment bien compris lorsqu'il s'agit de périodes de plusieurs milliers d'années (dans le cas des déchets de haute activité à vie longue) ou même de centaines d'années (dans celui des déchets de faible activité à vie courte) ?

- Les spécialistes et les autorités compétentes peuvent-ils être convaincus que le comportement prévu est représentatif de ce qui pourrait réellement se produire ?

- Les incidences radiologiques potentielles et les moyens d'estimer ces incidences peuvent-ils être présentés de façon claire et compréhensive à un public plus large ?

La nécessité de se donner les moyens de répondre à ces questions a favorisé l'essor de la discipline désignée sous le terme d'analyse de sûreté au cours des quinze dernières années environ. Le présent document a pour objet de convertir en une forme concise et facilement accessible le consensus qui s'est dégagé sur la démarche et les méthodes pratiques permettant d'analyser la sûreté de l'évacuation des déchets radioactifs. A cet effet, on s'est placé ci-après dans trois optiques qui amènent respectivement :

- A mettre en évidence les grandes questions générales ayant fait l'objet d'un large consensus au plan international ;

- A expliquer la façon dont les résultats quantitatifs des analyses de la sûreté à long terme sont interprétés en général ;

- A examiner brièvement plusieurs questions clés qui influent sur l'acceptabilité des résultats des analyses.

ELEMENTS DE CONSENSUS

L'analyse de sûreté peut être définie comme étant une étude du comportement futur du système global d'évacuation des déchets et de ses incidences potentielles sur les êtres humains et l'environnement, dont les résultats sont ensuite comparés aux normes appropriées de sûreté. Au fil des années, on est parvenu à un consensus international de plus en plus large sur le rôle et le cadre de l'analyse de sûreté. Il est possible de souligner en particulier trois aspects de ce consensus :

- En premier lieu, il est admis que le comportement futur du système d'évacuation doit être suffisamment bien compris pour s'assurer qu'aucune libération nocive de substances radioactives dans l'environnement ne sera susceptible de se produire, même s'il n'est pas jugé nécessaire (ou possible) de prévoir ce comportement dans tous ses détails. Les analyses de sûreté au sens large du terme fournissent le principal moyen d'acquérir cette compréhension et de la transmettre aux autorités compétentes et au public intéressé.

- En deuxième lieu, il existe un vaste consensus international sur la démarche générale à l'égard des analyses de sûreté (pour plus de détails, voir Annexe 1), ainsi que sur les procédures permettant d'obtenir des données, d'élaborer et d'utiliser des modèles, de procéder à des analyses de sûreté et d'en faire l'examen critique. Il est clairement entendu que les analyses de sûreté impliquent l'utilisation efficace de méthodes de modélisation prévisionnelle et d'une vaste gamme d'informations scientifiques décrivant le système d'évacuation et son évolution possible.

- En troisième lieu, il est admis que les analyses de sûreté doivent faire partie intégrante des programmes d'aménagement des dépôts à un stade précoce des travaux de recherche et tout au long des diverses étapes que sont le choix du site, la conception, la construction, l'exploitation, le déclassement et le scellement définitif des systèmes d'évacuation des déchets radioactifs. Avant qu'une autorisation soit délivrée à un site et à un modèle de dépôt particuliers, il faut procéder, dans les analyses de sûreté, par itération en ce qui concerne le choix du site du système d'évacuation et son aménagement, afin de déterminer si des informations complémentaires sont nécessaires et, dans l'affirmative, quel est le type d'information requis. Les analyses de sûreté constituent un élément crucial de la documentation destinée à l'autorisation des systèmes d'évacuation.

QU'ATTENDRE DES ANALYSES DE SURETE ?

Il est impossible d'avoir la preuve absolue que le comportement d'un système technique demeurera sûr et les systèmes d'évacuation des déchets radioactifs n'échappent pas à cette règle. Il faut donc parvenir à démontrer de façon convaincante et indirecte que le système d'évacuation proposé offre un niveau suffisant de sûreté pour les générations tant actuelles que futures. En conséquence, on s'emploie à rechercher un processus scientifique et réglementaire qui prenne dûment en compte les facteurs susceptibles d'influer de façon notable sur la sûreté et offre ainsi la base permettant de déterminer si le système d'évacuation des déchets proposé peut être considéré comme suffisamment sûr à long terme.

A cet effet, des calculs sont effectués en vue d'estimer les rejets potentiels de radionucléides à partir du dépôt de déchets, ainsi que les conséquences possibles des doses d'irradiation délivrées, du fait de ces rejets, aux individus supposés résider à proximité du site à un certain moment dans l'avenir. Deux observations importantes peuvent être formulées au sujet de ces calculs :

- Les rejets de radionucléides à partir d'un dépôt de déchets sont censés se produire dans des circonstances escomptées impliquant la dégradation progressive des barrières de sûreté du système ainsi que dans des circonstances moins probables impliquant une perturbation susceptible d'affecter la série de barrières de sûreté. Les conséquences doivent donc être considérées du point de vue du *degré de gravité* qu'elles peuvent présenter et du *degré de probabilité* des événements qui les engendre, si l'on veut évaluer les risques réels.

- Les calculs des doses susceptibles de résulter de rejets de radioactivité dans l'environnement d'ici plusieurs milliers d'années ou davantage se fondent en général sur les concepts de vie actuels. Toute estimation des conditions de vie dans un avenir lointain revêtirait un caractère largement spéculatif. Ces calculs sont donc en général considérés comme donnant une idée de ce que seraient les doses si le rejet se produisait aujourd'hui, plutôt que comme prévoyant la dose réelle qui sera délivrée à un être humain dans un avenir lointain.

Ainsi, les conséquences radiologiques à long terme des systèmes d'évacuation, telles qu'elles ressortent de ces analyses, sont normalement considérées comme des *indicateurs de sûreté* susceptibles d'être comparés à des normes de sûreté.

APPRECIATION DE LA SURETE

L'état actuel des connaissances relatives aux méthodes d'analyse de sûreté est brièvement résumé à l'Annexe 1 du présent rapport. Cependant, trois aspects particuliers méritent d'être mis en évidence à ce stade :

- La nécessité de procéder à des analyses intégrées ;
- La prise en compte des incertitudes entachant les résultats des analyses ;
- Les méthodes permettant de susciter la confiance dans les résultats des analyses.

Les évaluations du comportement des dépôts ont pour objectif ultime de déterminer les conséquences radiologiques possibles pour les êtres humains et l'environnement grâce à une *démarche intégrée et systématique*. Une analyse de ce type décrit les caractéristiques d'un système d'évacuation spécifique, examine les aspects importants de l'évolution à long terme escomptée et prévue et quantifie - dans la mesure du possible - les incidences du système global du point de vue des risques radiologiques. Tous les facteurs susceptibles d'influer de façon notable sur la sûreté sont rigoureusement pris en considération et sont étayés d'une documentation claire. Certains phénomènes pris en compte au cours de l'analyse pourront s'avérer plus ou moins importants au niveau des résultats finals, ainsi qu'en témoignent les *analyses de sensibilité*. L'accent est donc mis sur l'analyse et l'intégration cohérentes de tous les éléments de sûreté pertinents.

Les résultats des analyses sont et seront toujours entachés d'*incertitudes*. Certaines d'entre elles pourront être quantifiables - notamment celles qui reflètent la variabilité inhérente aux systèmes naturels. Cependant, d'autres incertitudes pourront ne pas être quantifiables de la même manière - notamment celles inhérentes à la prévision de certains événements futurs susceptibles de perturber l'intégrité du système d'évacuation. Il pourra être nécessaire de faire appel en bonne et due forme au jugement d'experts en vue d'assigner des limites aux incertitudes, notamment dans le cas du dernier type d'incertitudes. La caractérisation des sites et les travaux de recherche y afférents ont notamment pour objet de comprendre les incertitudes et, chaque fois que cela est possible, de quantifier ces incertitudes, de manière à être en mesure de réduire l'incertitude globale qui entache les résultats des analyses intégrées. De cette façon, on pourra obtenir une base suffisamment solide pour les décisions.

La prise en compte des incertitudes dans les analyses de sûreté s'inscrit toutefois dans le cadre d'une question de plus vaste portée, à savoir la nécessité de *susciter la confiance* dans la sûreté des systèmes d'évacuation. Plusieurs moyens permettent d'y parvenir. C'est ainsi que l'on peut accroître la confiance en établissant des procédures appropriées d'assurance qualité et de contrôle de la qualité pour la réalisation des analyses de sûreté, ainsi que pour les recherches et études de sites sur lesquelles elles s'appuyent. On peut aussi créer la confiance en s'assurant que les modèles prévisionnels utilisés dans les analyses de sûreté représentent de façon adéquate le comportement du système réel (processus de validation). Il est impossible de comparer directement le comportement prévu au comportement réel du système d'évacuation pendant les longues périodes au cours desquelles la sûreté doit être établie. Pour obtenir indirectement cette assurance, il faut procéder à une évaluation systématique des résultats de la modélisation en fonction des données tirées aussi bien d'expériences en laboratoire et sur le terrain que d'études sur des analogues naturels représentatifs, tels que les gisements d'uranium. Enfin, le jugement porté par des experts et l'examen critique de confrères font également partie du processus de nature à susciter la confiance. Toutes ces activités, qui sont souvent menées au niveau international, devront bénéficier d'un soutien accru si l'on veut contribuer à accroître la crédibilité des résultats des analyses.

Un jugement ne sera donc porté sur la sûreté d'un système d'évacuation des déchets qu'une fois que les informations obtenues dans le cadre d'une analyse intégrée auront été clairement présentées, que les incertitudes liées aux résultats des analyses auront été dûment prises en considération et que les autorités réglementaires compétentes et les autres intervenants juridiquement associés à ce processus auront procédé à un examen critique. Les systèmes réglementaires nationaux comportent de telles prescriptions.

CONCLUSIONS: LE POINT DE VUE INTERNATIONAL

La coopération internationale - par l'intermédiaire d'échanges d'informations et de projets communs - joue un rôle important dans la mise au point de méthodes permettant d'analyser la sûreté. En particulier, la coopération internationale favorise l'examen périodique et systématique de l'état des connaissances dans ce domaine et contribue à un débat bien informé et objectif entre spécialistes.

A la suite de cet examen, le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN et le Comité consultatif international de l'AIEA sur la gestion des déchets radioactifs :

- ***Reconnaissent*** qu'une connaissance correcte et suffisante des systèmes d'évacuation proposés est une condition préalable essentielle à la réalisation d'analyses de sûreté valables ;

- ***Notent*** que la collecte et l'évaluation des données relatives aux sites d'évacuation proposés constituent les principales tâches qui demandent à être poussées plus avant ;

- ***Reconnaissent*** que l'aptitude à effectuer des analyses de sûreté a sensiblement progressé ;

- ***Reconnaissent*** que les évaluations quantitatives de la sûreté s'assortiront toujours d'éléments d'appréciation qualitatifs et

- ***Notent*** que les méthodes d'analyse de la sûreté pourront être et seront encore perfectionnées à la suite des travaux de recherche en cours.

Compte tenu de ces considérations, les deux Comités :

- ***Confirment*** que l'on dispose à l'heure actuelle de méthodes d'analyse de sûreté permettant d'évaluer de façon adéquate les incidences radiologiques potentielles à long terme, sur les êtres humains et l'environnement, d'un système d'évacuation des déchets radioactifs soigneusement conçu, et

- ***Estiment*** que l'utilisation judicieuse des méthodes d'analyse de sûreté, assortie d'informations suffisantes au sujet des sites d'évacuation proposés, peut constituer la base technique permettant de déterminer si des systèmes d'évacuation spécifiques offriraient à la société un niveau de sûreté satisfaisant pour les générations tant actuelles que futures.

Cette opinion collective est *entérinée* par les Experts de la CCE chargés du Plan d'action de la Communauté dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

Annexe 1

RESUME DE L'ETAT DES CONNAISSANCES RELATIVES AUX METHODES D'ANALYSE DE SURETE

Démarche générale

La démarche générale à l'égard de l'analyse de la sûreté des dépôts de déchets radioactifs comprend un certain nombre d'éléments interdépendants :

- Détermination générale de l'évolution future possible du système d'évacuation choisi ("élaboration de scénarios") ;
- Elaboration et application de modèles appropriés ;
- Evaluation des conséquences radiologiques potentielles dans le cadre d'une analyse intégrée ;
- Analyses des incertitudes et de sensibilité ;
- Validation et examen de tous les éléments constitutifs de l'analyse ;
- Comparaison des résultats avec les critères adoptés ;
- Etablissement d'une documentation à l'appui de l'analyse.

Les rétroactions intervenant entre ces éléments et le processus d'itération appliqué à toute la gamme des éléments constituent des aspects importants de l'analyse de sûreté.

Bien que cette démarche générale fasse l'objet d'un large consensus international, il importe de noter que l'on utilise des techniques spécifiques différentes selon la finalité de l'analyse considérée et la nature des critères de sûreté à observer. En outre, les modèles et les données utilisés pour l'analyse de sûreté diffèrent suivant les conditions propres au type de déchets, au site et au mode d'évacuation. Enfin, la détermination et la caractérisation des déchets à évacuer et du système d'évacuation dans son ensemble constituent les bases nécessaires à une analyse de sûreté valable.

Elaboration de scénarios

Dans l'élaboration de scénarios, point de départ des analyses de sûreté, il s'agit de définir la large gamme des conditions futures possibles à prendre en considération ultérieurement dans la modélisation et les calculs des conséquences. L'imagination humaine et le jugement scientifique associés aux connaissances existantes des systèmes naturels et des barrières artificielles constituent la base de l'élaboration des scénarios. Au cours des dernières années, les méthodes d'élaboration de scénarios ont été sensiblement améliorées par le recours à des démarches qui sont systématiques et transparentes. Des listes détaillées de phénomènes (formation de failles et sismicité ou érosion, par exemple), dont il faut tenir compte dès le départ dans les analyses de sûreté, ont maintenant été établies dans le cadre de nombreuses études de sûreté et, ces dernières années, seuls quelques phénomènes nouveaux ont été jugés potentiellement importants pour des raisons tenant spécifiquement au site ou au mode d'évacuation considéré.

Un domaine particulier qui a récemment bénéficié d'un regain d'attention est l'évaluation des scénarios d'intrusion humaine. Des travaux sont désormais consacrés à la démarche fondamentale à adopter pour prendre en compte l'intrusion humaine et aux moyens de conserver les informations concernant le site et le contenu du dépôt.

Si la réglementation le prescrit ou que d'autres motifs amènent à l'entreprendre, l'estimation de la probabilité de survenue de la série finale de scénarios retenus pour les évaluations détaillées des conséquences peut constituer un élément particulièrement délicat des analyses de sûreté. Bien que plusieurs techniques différentes soient utilisées suivant le type d'événements et de processus futurs envisagés et suivant les données disponibles, elles font toutes appel, du moins dans une certaine mesure (et parfois dans une très large mesure), au jugement d'experts.

Elaboration et application des modèles

La nécessité de recourir à des modèles prévisionnels pour évaluer les conséquences radiologiques dans les analyses de sûreté est bien admise et les procédures générales d'élaboration des modèles sont parfaitement acceptées. Les principaux domaines sur lesquels la modélisation doit porter ont été déterminés il y a longtemps et des modèles prévisionnels ont été élaborés dans ces domaines. Des améliorations notables allant dans le sens d'un plus grand réalisme et d'une simulation plus détaillée y ont été apportées tout au long des années. Il existe désormais des modèles, plus ou moins détaillés et plus ou moins réalistes, pour évaluer et quantifier les effets des processus clés régissant les performances des systèmes d'évacuation des déchets radioactifs. La poursuite des travaux de mise au point se justifie encore dans certains domaines car une meilleure modélisation permettrait de lever ou de réduire les incertitudes liées aux résultats des analyses. Elle pourrait aussi contribuer à parfaire la conception des systèmes d'évacuation.

Ces dernières années, une attention particulière a été portée à l'interdépendance entre l'élaboration des modèles et les efforts en vue de rassembler les données correspondantes. En outre, les travaux en cours portent principalement sur le couplage des modèles relatifs à des processus spécifiques à l'intérieur de grands modèles intégrés et sur les simplifications requises pour en faire des outils pratiques à des fins d'analyse de sûreté.

Une solide connaissance fondamentale des propriétés physiques et chimiques pertinentes des éléments constitutifs du système et de leur évolution demeure une condition préalable de première importance pour la réussite de la modélisation.

Analyses intégrées

La collecte de données, l'élaboration de scénarios et la modélisation prévisionnelle ont pour objectif ultime de permettre une analyse intégrée décrivant les caractéristiques du système d'évacuation et quantifiant les performances du système global du point de vue de la sûreté radiologique en fonction du temps. De nombreuses analyses intégrées de dépôts tant réels que conceptuels dans diverses roches réceptrices ont été réalisées au fil des années ; elles démontrent qu'il est possible d'implanter et de construire des dépôts pouvant être considérés comme sûrs pour les êtres humains et l'environnement aujourd'hui et à l'avenir (pour un complément de détails et de références, prière de se reporter au compte rendu du symposium AEN/AIEA/CCE).

Les modèles utilisés dans les analyses de sûreté sont en général de deux types complémentaires : des modèles détaillés reflétant l'état d'avancement des recherches et des modèles simplifiés des systèmes considérés. Les modèles détaillés à des fins de recherche et leurs résultats sont nécessaires pour évaluer les options en matière de conception et d'ingénierie et ils servent à fournir une base justifiable en vue d'exclure les processus ne présentant pas d'importance pour la sûreté dans la modélisation simplifiée de caractère plus solide. Selon cette méthode de détermination des conditions limites, les scénarios, les modèles et les valeurs des paramètres sont choisis avec prudence (c'est-à-dire avec pessimisme). De ce fait, les analyses sont simplifiées et l'on évitera, dans la procédure d'autorisation, l'examen de certaines incertitudes qui sont sans importance pour la sûreté du système.

Analyses des incertitudes et de sensibilité

Les résultats des analyses sont et seront toujours entachés d'incertitudes. Celles-ci peuvent être en partie réduites grâce à une mise au point plus poussée des modèles et au recueil de données plus nombreuses et plus précises, mais elles ne pourront jamais être totalement éliminées car elles reflètent une véritable variabilité

des systèmes naturels. On a de plus en plus recours à des méthodes statistiques lorsqu'il s'avère impossible d'obtenir des mesures détaillées pour les données requises. Des incertitudes découlent aussi parfois d'une connaissance limitée des processus déterminants.

Dans le cadre des analyses de sûreté intégrées, les études de sensibilité fournissent une indication des domaines dans lesquels il est le plus indispensable de réduire les incertitudes. Cette indication est spécifique au site et au mode d'évacuation considérés et est utilisée pour affecter aux domaines dans lesquelles elles sont le plus nécessaires les ressources nationales en matière de recherche et de développement. En outre, les informations relatives aux incertitudes sont communiquées aux responsables de la conception du dépôt car elles peuvent leur permettre, le cas échéant, d'améliorer cette conception et de mieux choisir le site du dépôt.

Moyens de susciter la confiance

Les analyses de sûreté ont pour objectif ultime de servir de base à des décisions bien fondées concernant les systèmes d'évacuation des déchets radioactifs. A cet effet, il est nécessaire que les chercheurs, les analystes de la sûreté, les responsables de la réglementation et ceux qui participent au processus de décision ou sont intéressés par celui-ci aient confiance dans les informations, les enseignements et les résultats fournis par les analyses de sûreté. Le corps du rapport reflète l'importance de ce sujet et seules quelques remarques complémentaires visant la validation des modèles sont formulées dans cette annexe.

La validation des modèles consiste à donner l'assurance que les modèles utilisés représentent de façon adéquate le comportement réel des systèmes et les efforts menés dans ce domaine ont été intensifiés ces dernières années. La validation des prévisions à long terme doit être axée sur le caractère adéquat de la modélisation des processus susceptibles de définir les performances d'un système, compte tenu d'une diversité raisonnable de conditions futures possibles. Il n'y a aucun moyen de valider les prévisions des performances d'un système sur de longues périodes mais le caractère adéquat de certains aspects de la modélisation peut être étayé par diverses expériences en laboratoire et sur le terrain et par des études sur les analogues naturels. Plusieurs projets internationaux en coopération ont été lancés en vue d'étudier les possibilités de valider les modèles utilisés dans le cadre des analyses de sûreté.

Les besoins de validation dépendent du mode d'évacuation considéré. Dans le cas de certains concepts d'évacuation, une validation satisfaisante ne peut être réalisée qu'à l'aide d'études in situ effectuées sur le site potentiel du dépôt. On observe un renforcement de la coopération entre ceux qui sont chargés de concevoir le dépôt et de choisir les barrières ouvragées appropriées et ceux qui étudient la possibilité de valider les modèles destinés à être utilisés pour analyser la sûreté du système d'évacuation.

Critères réglementaires applicables à l'évacuation

Dans le cadre de l'analyse finale à des fins d'autorisation, les résultats des analyses de sûreté sont évalués en fonction des normes et critères réglementaires établis. Les critères internationaux applicables à la protection radiologique des individus et des populations ont servi de base à l'élaboration de critères nationaux de sûreté à long terme pour les systèmes d'évacuation des déchets radioactifs dans pratiquement tous les pays. Certains pays ont adopté des réglementations détaillées pour l'évacuation des déchets radioactifs, alors que d'autres ont défini des objectifs généraux de protection radiologique sans avoir nécessairement déjà établi des prescriptions spécifiques pour l'évacuation définitive des déchets. A l'échelon tant national qu'international, les travaux se poursuivent en vue d'élaborer des critères spécifiques applicables à la sûreté à long terme des systèmes d'évacuation des déchets radioactifs, notamment en vue de pouvoir disposer de ces critères en temps utile pour l'autorisation des dépôts de déchets de haute activité.

Les détails des démarches, méthodes et données requises dans le domaine de l'analyse de sûreté sont déterminés et influencés par les critères détaillés qui sont appliqués. Cependant, même si la formulation détaillée de normes de sûreté spécifiques peut différer d'un pays à l'autre pour des raisons juridiques ou historiques, il est manifeste que le même type général de travaux d'analyse de sûreté s'impose et est entrepris à un stade quelconque du processus réglementaire.

Documentation à l'appui des analyses

L'aptitude à procéder à des analyses relativement détaillées s'est rapidement améliorée grâce aux progrès réalisés dans les modèles et aux possibilités croissantes offertes par les ordinateurs et les systèmes de bases de données. On s'accorde toutefois à reconnaître que la présentation, sous une forme claire, des informations obtenues au cours d'une analyse intégrée constitue une tâche de plus en plus importante et mobilisatrice à mesure que des méthodes techniques plus avancées et plus complexes sont mises au point. Des travaux sont en cours dans ce domaine.

Annexe 2

BIBLIOGRAPHIE

1. Evacuation des déchets radioactifs: Panorama des méthodes d'analyse de sûreté. OCDE/AEN, Paris, 1990.

2. L'analyse de la sûreté des dépôts de déchets radioactifs. Colloque international organisé par l'AEN, l'AIEA et la CCE. OCDE/AEN, Paris, 1990.

3. Principes de sûreté et critères techniques pour le stockage définitif souterrain de déchets de haute activité, Collection Sécurité N° 99, AIEA, Vienne, 1989.

4. Faisabilité de l'évacuation des déchets de haute activité sous les fonds marins. Volumes 1-8, OCDE/AEN, 1988.

5. PAGIS. Performance Assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste (Evaluation des performances des systèmes d'isolement des déchets radioactifs dans les formations géologiques). EUR 11775 EN, CCE, 1988.

6. Evacuation des déchets radioactifs dans les formations géologiques - Recherches et études in situ dans les pays de l'OCDE. OCDE/AEN, Paris 1988.

7. Appréciation technique sur la situation actuelle en matière de gestion des déchets radioactifs. Une opinion collective du Comité de la Gestion des Déchets Radioactifs. OCDE/AEN, Paris, 1985.

8. Objectifs de protection radiologique à long terme applicables à l'évacuation des déchets radioactifs. OCDE/AEN, Paris, 1984.

9. Concepts et exemples d'analyse de sûreté dans des formations géologiques continentales, Collection Sécurité N° 58, AIEA, Vienne, 1983.

10. Analyse de sûreté pour l'évacuation des déchets radioactifs dans le sous-sol, Collection Sécurité N° 56, AIEA, Vienne, 1981.

Annexe 3

LISTE DES EXPERTS

Voir texte anglais page 21

OECD PUBLICATIONS, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16 - No. 75311 1990
PRINTED IN FRANCE