

**COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES**

Directorate General for Social Affairs

Directorate for Health Protection

**HEALTH IMPLICATIONS OF THE STORAGE  
OF RADIOACTIVE SUBSTANCES  
ON AND IN THE GROUND**

**Colloquium at Cherbourg-La Hague (France)**

**14-15 April 1970**

Edited by :

**J. SMEETS and R. AMAVIS**

Commission of the European Communities

Directorate General for Social Affairs

Directorate for Health Protection

**EUR 4736 e**



## CONTENTS<sup>(1)</sup>

FOREWORD, Dr. P. RECHT . . . . .	5
I—WELCOMING ADDRESS, INTRODUCTION AND OPENING ADDRESS . . . . .	7
M. S. Sollier, Cherbourg-La Hague . . . . .	9
J. Smeets, Commission of the European Communities, Luxemburg . . . . .	10
Y. Sousselier, CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses . . . . .	12
II—THE EXTENT OF THE PROBLEMS OF THE STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE IN THE EUROPEAN COMMUNITY . . . . .	15
Long-term forecasts of the production of radioactive waste in the European Community, G. Grison (Commission of the European Communities) . . . . .	17
Discussion . . . . .	28
III—THE INTERACTION OF RADIOACTIVE WASTE WITH THE ENVIRONMENT . . . . .	51
Interaction between the environment and radioactive solid waste disposed of on or in the ground, G. Branca (Italy) . . . . .	53
Discussion . . . . .	69

---

<sup>(1)</sup> This publication is in two parts :  
1. The papers and discussions in their languages of origin;  
2. English translation of these texts.

IV—ESTABLISHMENT OF A STORAGE SITE . . . . .	77
1. Siting of storage facilities for radioactive waste, G. Grison (Commission of the European Communities) . . . . .	79
2. Establishment of a radioactive waste disposal site, H. Krause (Federal Republic of Germany) . . . . .	87
3. Consequences for health of the storage of radioactive waste in the ground and assessment of the storage capacity of a site, D. Mechali (France) . . . . .	89
Discussion . . . . .	94
V—PRACTICAL ORGANISATION OF MONITORING AND SURVEILLANCE OF RADIOACTIVE POLLUTION IN THE AREA OF A RADIOACTIVE WASTE BURIAL GROUND . . . . .	101
1. Practical monitoring of a waste storage site, H. Krause (Federal Republic of Germany) . . . . .	103
2. Surveillance of the radioactive waste disposal site at La Hague (Manche Centre), J. Scheidhauer (France) . . . . .	104
Discussion . . . . .	106
VI—CLOSING ADDRESS . . . . .	117
J. Smeets (Commission of the European Communities) . . . . .	119
Appendices:	
I—List of participants . . . . .	120
II—The Infracome Company . . . . .	121

## FOREWORD

The production of radioactive waste will be stepped up as a result of the increasing use of nuclear energy. The management of this waste gives rise to more and more delicate problems, particularly in the six member States of the Community which are all so densely populated. It is therefore essential to be able to solve this problem effectively without endangering public health and at an economically feasible price. The search for such solutions will no doubt be lengthy and thus must be undertaken as soon as possible. The Cherbourg-La Hague meeting was held with a view to paving the way for Community action in this field.

This meeting surveyed existing problems and assessed future ones so as to work out rational plans for action either by co-ordinating national activities or by international co-operation. The essential aim should be to safeguard public health and the environment against risk constituted by a large accumulation of radioactive materials; the solutions adopted should conform to clear-cut health imperatives for several countries. This is bound to involve economic considerations and calls for solutions taking into account every aspect of the problem.

This initial meeting enabled each delegation to outline its own views on the management of radioactive waste, to report on the solutions adopted and supply information on its future policy. The various aspects of the problem were defined and specified; conclusions were drawn on the possible future actions for which the interest of co-ordination and international co-operation was underlined.

The storage of radioactive waste is one of the negative aspects of the peaceful use of nuclear energy. The financial burden of such storage must be reduced without endangering safety or leading to any unacceptable contamination of the environment.

An important task of the Directorate for Health Protection is to study and seek practical, adequate formulas in conformity with the health demands.

This first pluridisciplinary meeting was held in a very auspicious atmosphere; it supplied several concrete elements for further consideration on a difficult and complex problem which will be more readily solved by means of real European co-operation.

Dr P. RECHT

**I—WELCOMING ADDRESS,  
INTRODUCTION and OPENING ADDRESS**

*Chairman:*

Y. Sousselier (CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)





## **WELCOMING ADDRESS**

Mr Sollier (Assistant Manager of the Cherbourg-La Hague Centre).

Mr Chairman, Gentlemen,

As Mr Boussard, Director of the Centre, has been retained in Paris, I have the honour and pleasure to welcome you on his behalf to the Cherbourg-La Hague Centre. You are certainly aware that this Centre is particularly interested in the subject of your discussions. Indeed, the Centre's plant for reprocessing irradiated fuel, which has been operational since 1966, should be extended considerably in the forthcoming years in order to make it possible to reprocess "oxides", with a capacity which for the moment has been set at around 900 tons per year. The Cherbourg-La Hague Centre is thus already an important producer of radioactive waste and therefore all that you can do to ease the problem of storage safety is of direct interest to us. I know that you have a very heavy programme for these two days, which unfortunately will not allow you time to visit the Cherbourg-La Hague installations. I greatly regret this. But at least you will find fairly comprehensive documentation on the Cherbourg-La Hague Centre in this room.

## INTRODUCTION

J. Smeets (CEC, Luxemburg)

Mr Chairman, Gentlemen,

On behalf of the Commission of the European Communities, I have the honour and pleasure of welcoming you to the La Hague Centre.

I should like to thank the *Commissariat à l'énergie atomique* and the directors of the La Hague Centre for their hospitality in making available this conference room for the meeting and providing the technical and organizational staff.

The present meeting on the subject of the health implications of the storage of radioactive substances on the surface and underground, is of an informatory character and has a dual aim, viz. :

1. An exchange of general views and of scientific, technical and possibly administrative information on these problems with the emphasis on the health aspects.
2. To provide guidance for the services of the Commission of the European Communities by specifying the importance of these health problems on a Community scale and search for ways of solving them.

You all know the importance and the actuality of the problem with regard to the protection of man and his environment, environmental hygiene and nature conservation (safeguarding of natural resources, etc.). The topic of this meeting is a particularly good example of this having regard to the technological advances in the field of nuclear energy.

In October 1969, the electronuclear power in the Community was as follows:

In operation . . . . .	3 090 MWe
Under construction . . . . .	3 116 MWe
Planned . . . . .	10 412 MWe
or a total of . . . . .	<u>16 618 MWe</u>

This represents a production of fission products, by the power plants now installed, of  $1.5 \times 10^9$  curies per annum and about the same amount for the power plants in construction. According to some recent forecasts, the quantity of fission products produced will reach in a few years  $8.5 \times 10^9$  curies. The main source of waste (99.9% of the total radioactivity of wastes) is due to the reprocessing of irradiated fuels.

Mr Grison estimates that the annual production of solid waste conditioned in concrete or bitumen is for the European Community around 10 000 to 12 000 m<sup>3</sup>.

During the discussions these two days, we shall have other more detailed estimates of the annual production of highly radioactive solid wastes and liquid effluents. During our discussions the emphasis will therefore be placed on the health physics implications of the management of radioactive wastes, with a view to improving the protection of the environment. But it is important not to neglect at the same time the very important economic aspects of this problem. There are also the aesthetic factors which should be carefully considered so that radioactive disposal sites do not have a harmful effect on the environment.

I hope to have presented in general terms in this short introduction the goal of this meeting.

## OPENING ADDRESS

Y. Sousselier (CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)

Thank you, Mr Smeets, I consider that you have just very clearly defined the terms of reference and the objective of our work during these two days. Plainly, these problems of waste are going to become more and more difficult, but not more and more crucial, because I am convinced that in this field, as in all others, both the technicians and the specialists in the different disciplines concerned have been and will continue to be capable of providing all the necessary solutions. However, you have just reminded us, Mr Smeets, that the scale of the problem will increase with the development of nuclear energy, which is now in progress, but which is going to grow very fast during the present decade, and it is obvious that there is a danger that we shall be faced with the same situation as has now arisen in the United States with the crystallisation of a trend in public opinion. Before going on to the subject of our meeting proper, I would like to refer to certain considerations which seem to me to be extremely important. A few years ago, in various European countries, we had many problems with our public opinion, which was very much aware of atomic energy. I believe that difficulties were met with in every country of the Community, and in France in particular, in relation to the setting up of certain nuclear research or production centres, since the local populations were afraid of possible incidents and had a more or less vague dread of the dangers of atomic energy. At that time, however, the United States did not have these problems when their centres were set up: nobody said anything when they built their storage centres, and they have several. Now, the situation is virtually reversed; American public opinion seems to have discovered the problem of atomic energy with the full scale development of American nuclear power stations. But in the public hearings stipulated by American legislation before construction permits are granted, or simply in certain trends of opinion started by particular groups, sometimes, it must be emphasised, with the support of particular scientists, it is obvious that all this has taken on considerable importance, and that the Atomic Energy Commission is worried. The Commission did not wait for the movement of public opinion to gather momentum

before combating it and trying to counterattack, but it is very difficult to succeed in pacifying public opinion when anxiety has been unjustly aroused. I think that in our countries, a similar trend is associated with the development of atomic energy, which is somewhat slower in Europe than in the United States. In some Community countries, there is at present considerable development; obviously, all the other countries will follow with a longer or shorter delay, but it is highly possible that when this development takes place, or when a particular production centre is built, and, of course, in the face of the problems of waste and its storage, similar movements of public opinion will take place in our own countries, and I feel that in this field as in many others the best defence is attack. Even so, we must be cautious, because if we announce that atomic energy presents no dangers, we shall also arouse public anxiety, and this is bound to be a bad thing.



**II—THE EXTENT OF THE PROBLEMS  
OF THE STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE  
IN THE EUROPEAN COMMUNITY**

*Chairman:*

Y. Sousselier (CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)





## Long-term forecasts of the production of radioactive waste in the European Community

G. Grison (CEC)

In 1968, the main producers of radioactive wastes (research centres and the Marcoule reprocessing plant) were briefly questioned and the results of this inquiry are assembled in the table below:

Research Centres	Conditioned muds resulting from the treatment of liquids effluent, in m <sup>3</sup>		Conditioned solid materials resulting from the treatment of solid wastes, in m <sup>3</sup>	
	1967	Growth forecasts	1967	Growth forecasts
Mol	40	10% per year	120	50% in 1968 20% beyond
Saclay	300	5% per year	1 700	status quo
Fontenay-aux-Roses	130	20% per year	370	20% per year
Marcoule	800		1 600	
Karlsruhe	100	50% per year	300	30% per year
Ispra			105	200% in 1968 beyond status quo
Casaccia	5	negligible	150	100% in 1968 beyond status quo

These centres have produced in 1967 approximately 6 000 m<sup>3</sup> of conditioned wastes. On the basis of announced forecasts, one can estimate that the annual growth for the next five years will be around 500 m<sup>3</sup>.

In France the low activity waste produced in 1968 amounted to 8 000 m<sup>3</sup>.

Finally, an investigation carried out in 1966 in the Federal Republic of Germany has shown that low activity wastes were produced more or less regularly by 400 to 500 organisations handling nuclear materials. The quantities vary from some hundreds of litres to some m<sup>3</sup>. A dozen organisations produce annually 5 to 30 m<sup>3</sup>. But the principal producer is the Research Centre of Karlsruhe which is responsible for half of the total German production.

On the basis of these various considerations, one can estimate that the annual production of solid conditioned wastes (in concrete or in *bitumen*) for the European Community is around 10 to 12 000 m<sup>3</sup>. This is obviously the routine production, since certain exceptional productions (such as that originating from the dismantling of the plutonium extraction pilot plant: 10 000 m<sup>3</sup>) can influence strongly the annual totals.

The long- and even medium-term forecasts are difficult to establish for many reasons which would be superfluous to enumerate here.

In February 1966, at the Richland symposium on the solidification and the long-term storage of high activity wastes, Blanco and co-workers published figures and production forecasts which are summarized in the following table:

	1970	1980	2000
Installed capacity in MWe	7 000	74 000	734 000
Annual production of high activity liquid effluents in m <sup>3</sup>	117	1 240	12 800
Annual production of conditioned solid wastes in m <sup>3</sup>	8.75	93.3	960
Accumulated production of solid wastes in m <sup>3</sup>	15.6	452	8 750
Accumulated quantities of fission products in t.	19	305	4 250
Accumulated quantities of Sr <sup>90</sup> in MCi	18	500	8 600
Accumulated quantities of Kr <sup>85</sup> in MCi	1.2	60	920
Accumulated quantities of H <sup>3</sup> in MCi	0.02	2	29

These figures are to be compared with those published in the EUR 3664 report. On the basis of a rapid estimate, the figures in EUR 3664 report allowed to forecast that by the year 2000, the total radioactive wastes deposited in the European Community would be around 3 000 t. of fission products. The overall residual activity of these wastes at the end of this century would be around 300 milliards curies.

We have also available a study carried out in the Federal Republic of Germany which estimates the various wastes production up to 1980. These forecasts have been calculated on the basis of a development programme of nuclear power plants reaching a total of 16 000 MWe in 1980. Three types of wastes are produced, the details of which are given in three graphs (Figure 1). From these the following summary table can be established:

	Solid wastes low activity (m <sup>3</sup> )	Solid wastes intermediate activity (m <sup>3</sup> )	Solid wastes high activity	
			m <sup>3</sup>	Activity G. curies
1970	1 200	200	3	0.2
1975	3 000	500	20	1.0
1980	6 000	900	53	2.7

It should be pointed out that these forecasts are likely to be far too low, since the Minister of Scientific Research foresees that 30 to 50 nuclear power plants will be installed by 1980, totalling 25 to 30 000 MWe. Consequently this new programme should double the above totals.

On the other hand, high activity wastes production forecasts, resulting from the reprocessing or irradiated fuel, have been calculated in detail on the basis of the very short-term nuclear power development in the European Communities. These forecasts are summarized in the table below:

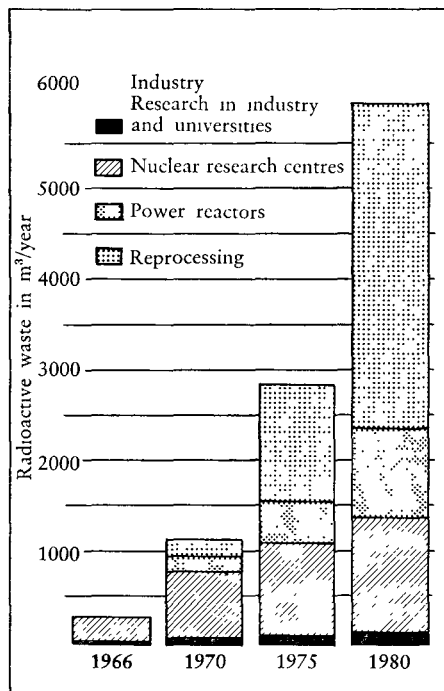
	1969	1970	1971	1972	1973
Fission Products Activity in GCi	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7
Liquid volume in m <sup>3</sup>	60	100	120	140	140

A long-term nuclear power development programme has been published by the Commission of the European Communities. (See diagram in Figure 2.) Even though a certain distribution between the different reactor types is foreseen, the details are not sufficiently known to enable very precise calculations on waste production forecasts.

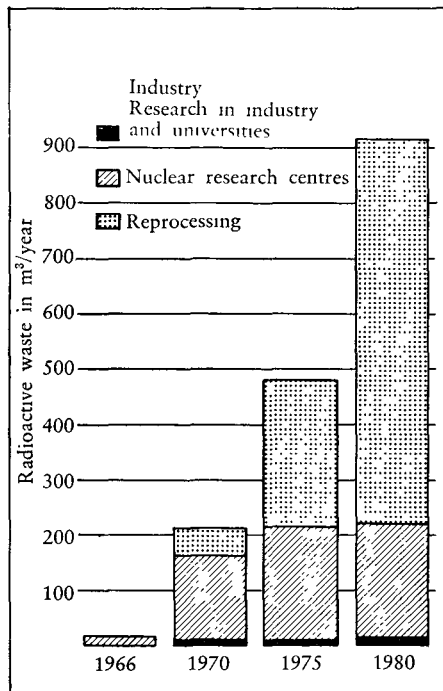
Furthermore, the development of fast reactors is still in the pilot stage; many data will have to be specified as well, in a more or less distant future.

It seems then, that at this stage, it is necessary to admit, as basis of calculation, certain facts acquired today and extrapolated in the future in relation to the overall nuclear power now programmed.

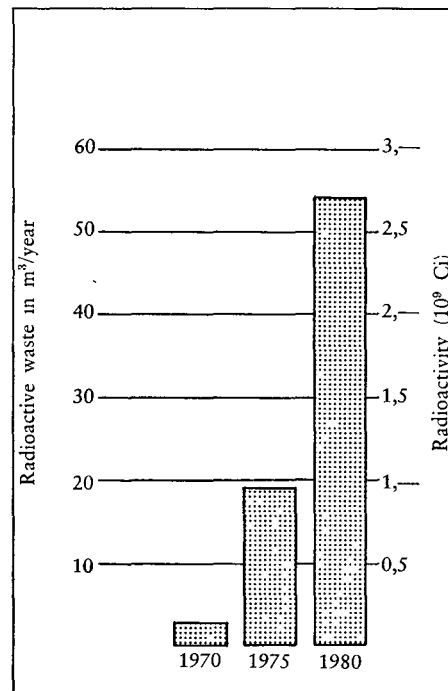
The results are summarized in the annexed Tables and graphs (see Figures 1, 2, 3, 4, 5, and Tables I, II, III). These results, based on hypotheses which seem reasonable have the advantage that they enable us to set an order of magnitude for the quantities of wastes likely to be produced. Consequently, they enable us to gauge the importance of the technical and economic problems raised by them.



Estimated total incidence of low activity waste in the Federal Republic of Germany



Estimated total incidence of medium activity waste in the Federal Republic of Germany



Estimated total incidence of highly radioactive heat-generating waste in the Federal Republic of Germany

Fig. 1.

DEVELOPMENT PROSPECTS  
OF ELECTRO-NUCLEAR ENERGY

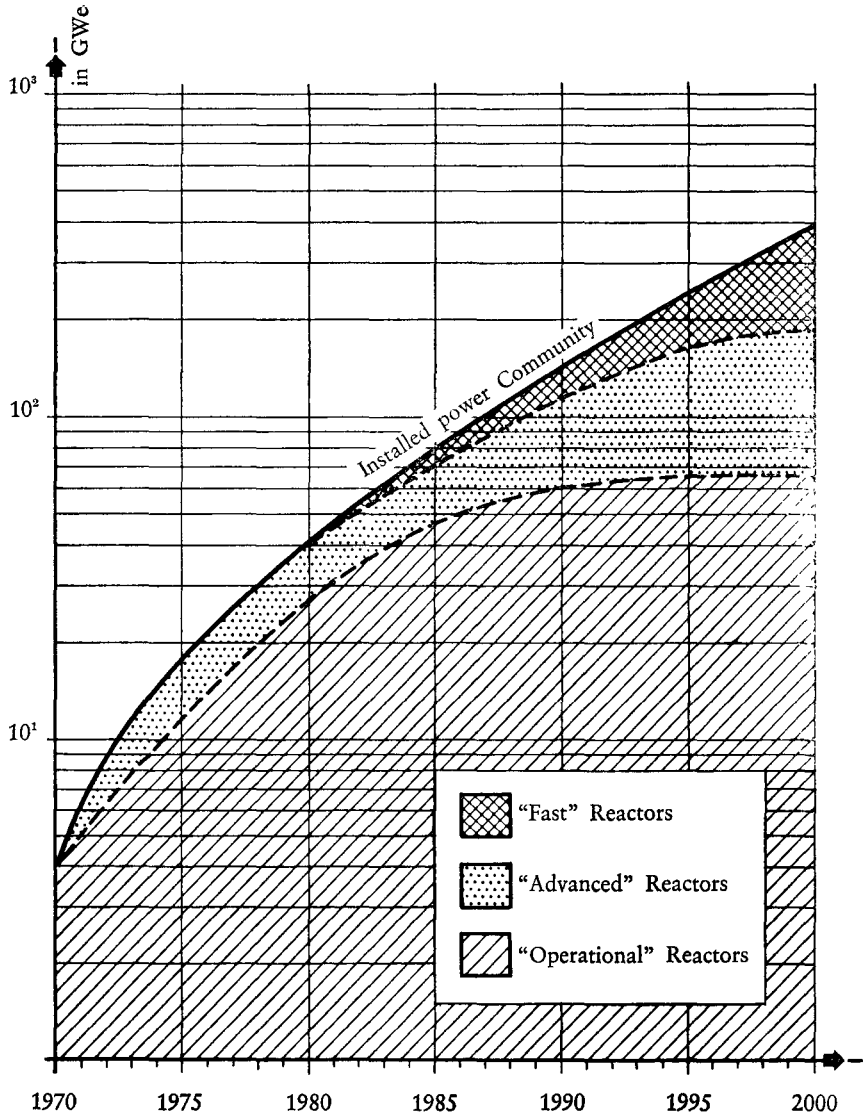


Fig. 2.

FORECASTS OF ANNUAL PRODUCTION  
 OF SOLID RADIOACTIVE WASTES  
 IN THE COMMUNITY  
 —  
 LOW ACTIVITY

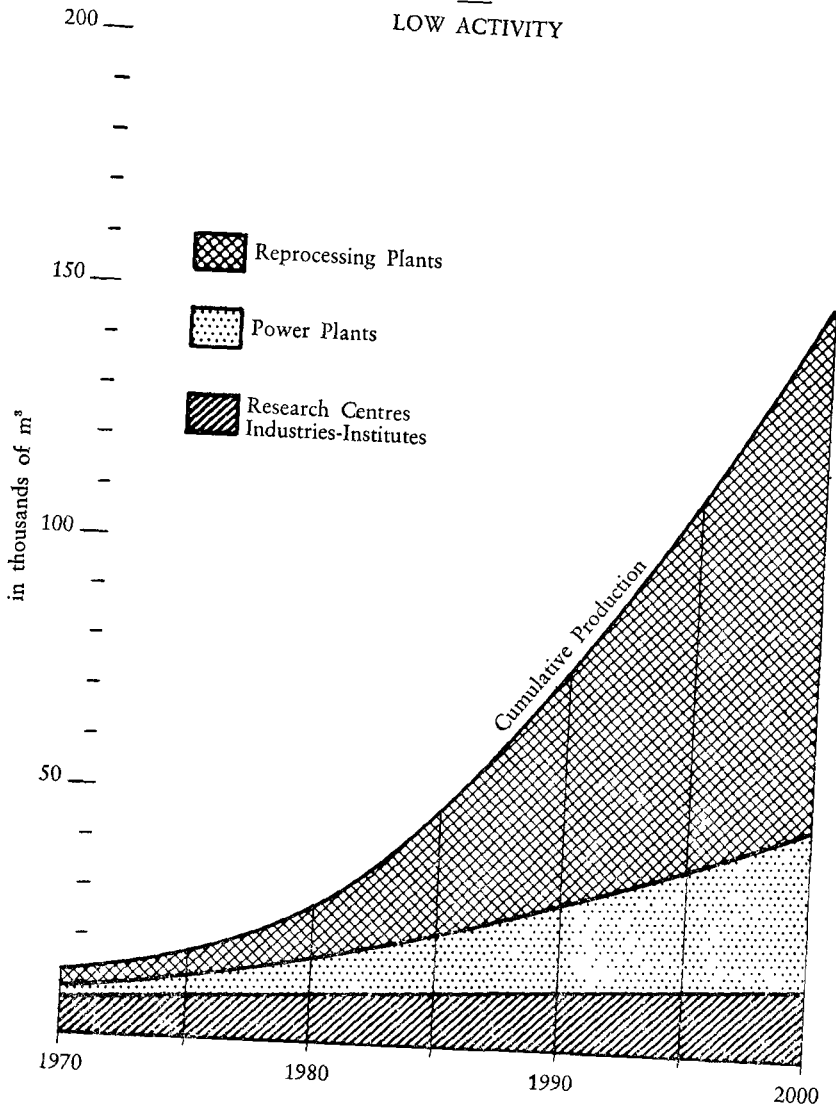


Fig. 3.

FORECASTS OF ANNUAL PRODUCTION  
OF SOLID RADIOACTIVE WASTES  
IN THE COMMUNITY  
INTERMEDIATE ACTIVITY

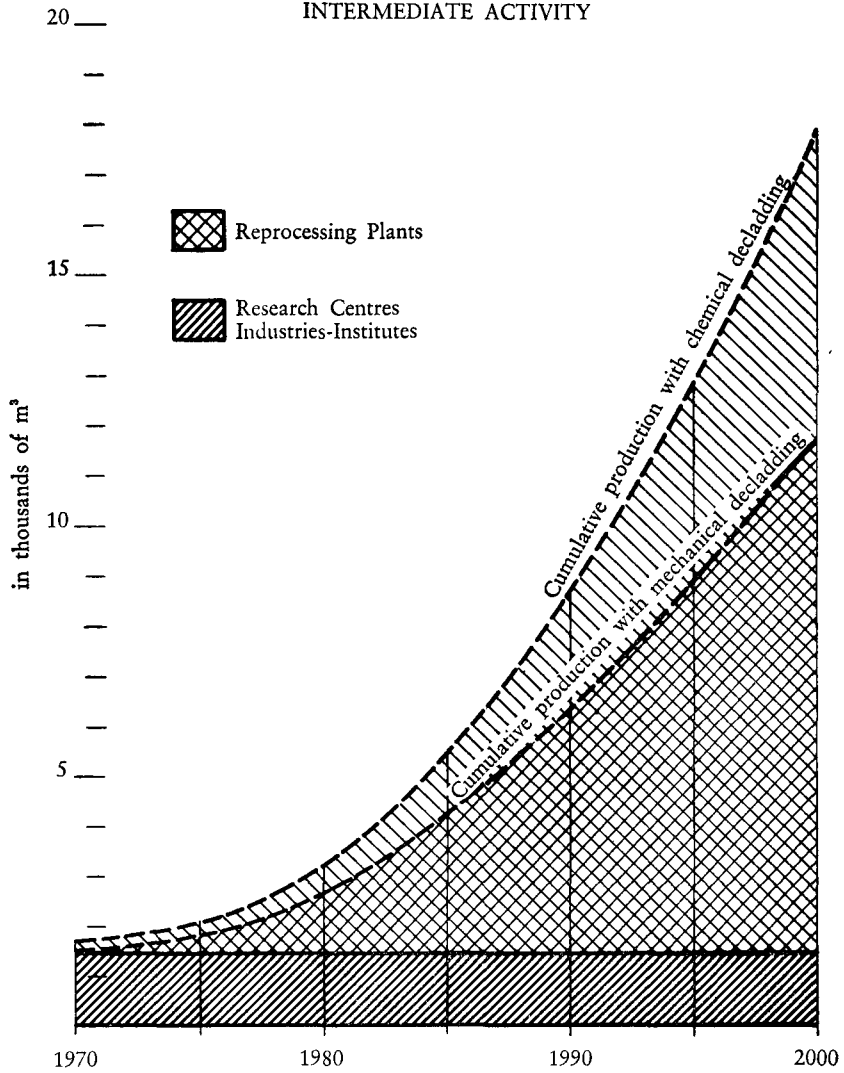


Fig. 4.



FORECASTS OF ANNUAL PRODUCTION  
OF SOLID RADIOACTIVE WASTES  
IN THE COMMUNITY  
HIGH ACTIVITY

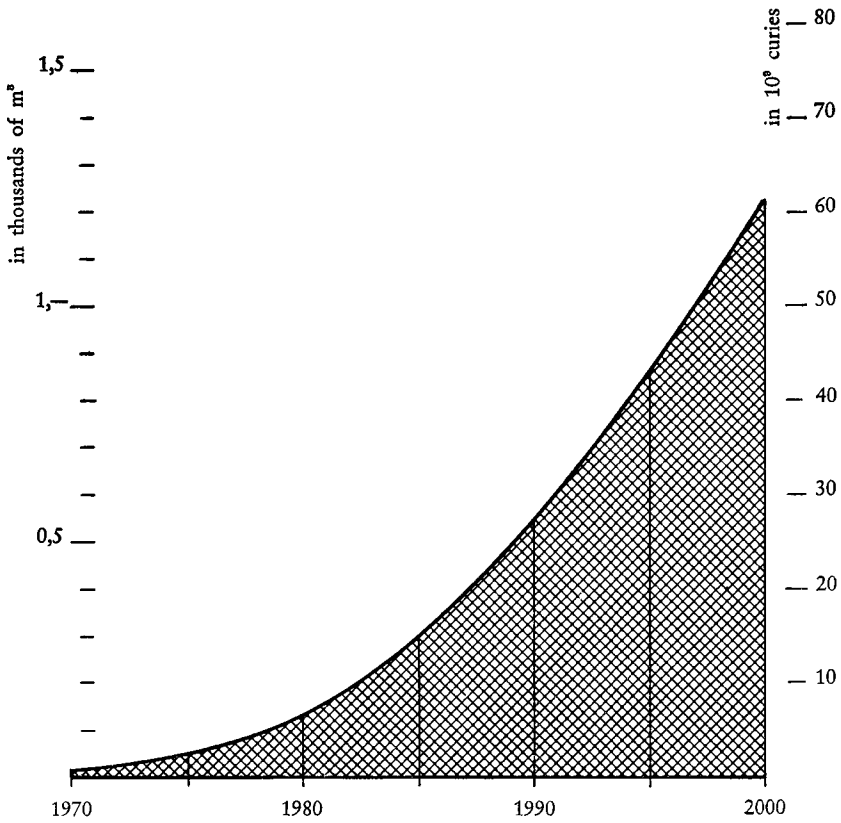


Fig. 5.

TABLE I

**Production forecasts of conditioned radioactive wastes**

Low activity

	<i>in m<sup>3</sup></i>			
	1968	1970	1980	2000
Research Centres				
Institutes-Industry	6 000	7 500	10 000	15 000
Power reactors	1 400	1 600	6 400	40 000
Reprocessing plants	2 500	4 000	10 000	95 000
<b>Total</b>	<b>9 900</b>	<b>13 100</b>	<b>26 400</b>	<b>150 000</b>

*Bases:*

(a) Research Centres—Industry—Various Institutes:

Table showing 1967 production with an average increase of 5%/year.

(b) Power reactors:

100 m<sup>3</sup>/year per reactor for an average power of 250 MWe up to 1970;  
500 MWe up to 1980 and 750 MWe up to 2 000.

(c) Reprocessing plants:

Short term: production of present plants;

subsequently 250 m<sup>3</sup>/year per 1 000 MWe

(reprocessing of 0.05 t U/MWe, or 50 t U/1 000 MWe; production of 5 m<sup>3</sup> solid wastes/t U, or 250 m<sup>3</sup> solid wastes/1 000 MWe).

TABLE II

Production forecasts of conditioned radioactive wastes

Intermediate activity

	<i>m<sup>3</sup></i>		
	1970	1980	2000
Research Centres Institutes-Industry	1 500	1 500	1 500
Reprocessing plants: Chemical decladding <i>or</i> Mechanical decladding	170 110	1 700 1 100	16 300 10 300
Total:			
Chemical decladding <i>or</i> Mechanical decladding	1 670 1 610	3 200 2 600	17 800 11 800

*Bases:*

(a) Research Centres, etc.: 100 m<sup>3</sup>/year per important research centre;  
Application of a factor of 1.5 in order to take into account small centres,  
industries, etc.

(b) Reprocessing plants:

reprocessing of 50 t fuel /1 000 MWe.

*Chemical decladding:* 5 to 7 m<sup>3</sup> solution/t combined in a concentration  
of 10<sup>4</sup> Ci/m<sup>3</sup>.

Reduction factor towards solid: 1/7.

*Mechanical decladding:* 8 to 10 m<sup>3</sup>/50 t fuel.

Conditioning factor into solid: 3.

TABLE III

**Production forecasts of conditioned radioactive wastes**

High activity (Fission products)

	<i>in curies and m<sup>3</sup></i>		
	1970	1980	2000
Activity in GCi	0.64	6.4	61
Liquid volume in m <sup>3</sup>	128	1 280	12 200
Solid volume in m <sup>3</sup>	12.8	128	1 220

*Bases:*

Treatment of U Th:  $1.6 \cdot 10^8$  Ci. Fission products/1 000 MWe at a concentration of  $5 \cdot 10^6$  Ci/m<sup>3</sup> solution.

Reduction factor into a solid: 1/10.

*Discussion*

Mr SOUSSELIER emphasized the extent of the problem and the scale of the possible margins of error in the forecasts. Technical progress was likely to reduce the volumes to be stored. e.g. through better packaging or waste compression. Another possible source of modification was a possible change in standards (discharge and storage standards). Furthermore, gaseous effluents (noble gases) at present discharged untreated might constitute a problem in the future.

Mr Sousselier reminded those present of the importance of psychological problems in the setting up of storage centres. It was important to know the number of storage centres to be set up during the decade and in future decades in the Community, and also to know whether the best solution, both economically and psychologically, would be to have large centralised storage facilities or instead a larger number of burial grounds serving a much smaller number of plants.

Regarding volume reduction by technical methods, Mr GRISON confirmed the use of a factor of 10 for the solidification of high-level waste. In the USA a factor of 11 to 13 was used.

Mr KRAUSE gave details of the German forecasts for the years up to 2000: "At present most of the low-level waste, from 1 to 5 Ci/m<sup>3</sup>, originates from research centres. After 1980, this source will remain virtually constant, but the waste from power reactors will amount to one third of the total. For medium-level waste, the situation is similar to that of low-level waste. In contrast, high-level waste will begin to increase after 1980, and we expect a volume of 200 m<sup>3</sup> to be attained. These estimates apply to a programme of 25 000 to 30 000 MWe."

Mr SCHEIDHAUER raised the problem of "very low-level" waste, which was essentially one of economics.

Mr GRISON thought that this waste would be better described as "suspect", and confirmed the information given in his graphs.

"The 1967 production of the research centres is increasing on average by 5% per annum. This was more or less what was anticipated in the five-year programme; I have assumed that the growth will be constant over the next few decades. For power reactors, I have taken as a basis (remembering that the figures are very variable for low-level waste) 250 MWe and 100 m<sup>3</sup>/year. In 1970, the unit power of reactors is 250 MWe, and this is expected to increase to 500 MWe and to 750 MWe by 2000."

Mr Grison acknowledged, however, that these figures might be questioned.

Mr SOUSSELIER, in conclusion, said that in the case of reactors, it was very difficult to forecast exactly the amount of waste that would be produced, but in view of the large number of reactors which would be in service, especially as from the 1980s, the law of large numbers would operate, and even if the volume of waste was more substantial for some reactors, overall an average forecast would probably be fairly accurate.

Mr KRAUSE: "I should like to comment on the estimation of radioactive waste. Slight errors in estimation are not serious; even a factor of 2 or 3 makes very little difference. Because of the very steep slope of the curve, this merely means a few years either way, and it is not very important whether a particular point is reached in 1980, 1983 or 1977. We shall certainly obtain the appropriate order of magnitude."

Mr GRISON: "I believe that what you have just said is very true. Allowing for the rate of growth, even if the estimates for 1980 do not hold good, they will certainly apply to the period from 1978 to 1982."

Mr SOUSSELIER, the Chairman of the session, then proposed calling upon each of those present in turn so as to obtain information from the representatives of the different countries of the Community.

### 1—ITALY

Mr BRANCA: "Mr Chairman, I can give some details of the past and present production of solid radioactive waste in Italy. (Forecasts for the future can be made only by extrapolating the present figures or by resorting to other assumptions, and for this reason I shall not dwell on this point.) Since the problem of radioactive waste has not yet attained the same scale as in other countries, because of the relatively recent development of the Italian nuclear programme and also because the fuel cycle, fuel representing the most important source of waste as regards radioactivity, is for the present limited in Italy to nuclear reactors.

As everyone here knows, there are at present 3 nuclear power stations in operation in Italy (Garigliano, Latina and Trino Vercellese).

The following Table gives an idea of the amount of solid waste produced at, for example, the Garigliano station.

Year	Total volume (m <sup>3</sup> )	Activity in curies		
		Activation products	Fission products	Total
1965, 1966, 1967	430	360	300	660
1968	250	22 620	430	23 050
1969	190	204	490	694
Total	970	23 364	990	24 684

This was mostly low-level and medium-level waste. The figure of 22 620 Ci for the waste produced in 1968 is almost entirely due to the stainless steel fuel cans.

At the Latina station, the production of waste was as follows:

Year	Total volume (m <sup>3</sup> )	Total activity in curies
1964	3	0.004
1965	20	67.1
1966	18.5	67
1967	25	57
1968	28	87
1969	15	110

Finally, at the Trino Vercellese station, the waste so far produced amounts to 36 m<sup>3</sup> of compacted material, containing a total of 8 mCi, including in addition shielded containers full of solidified resins, to a total amount of 4 Ci, and other containers full of metal scrap and filters amounting to a total of 120 Ci.

Nearly all the solid waste produced at the above 3 stations is placed in bags or drums, when it is not incorporated in concrete, and finally brought to a controlled on-site store, constructed, as necessary, in the open, in huts built for the purpose or in concrete tanks. For some time, consideration has been given to the possibility of permanent disposal by burial in a trench.

This was done experimentally at the Garigliano station, after calculation of the receptivity of the ground, by an approximate method, but which erred on the side of safety, i.e. based on extremely conservative assumptions. For Co<sup>60</sup> (one of the characteristic nuclides present in reactor waste), the value of the maximum activity which can be buried was found to be 640 Ci.

This activity, according to those responsible for the management of the radioactive waste of the station, is much greater than the amount whose disposal is anticipated, including low-level waste, even over a period of

20 years of operation of this station (the total activity so far deposited in the trench in fact amounts to only 5.6 Ci).

With regard to the nuclear research centres, I would mention that in Italy, apart from the Joint Research Centre at Ispra, there are various national centres. Of these, the most important, which produces the largest amount of waste, is the CNEN nuclear research centre of La Casaccia, where both applied and fundamental research are carried out; for this reason I consider it worth while to give some figures for the production of radioactive waste arising there from 1966 to 1969.

Year	Total volume (m <sup>3</sup> )
1966	70
1967	142
1968	214
1969	150

Most of this waste is of low activity, which is at present collected in 220-litre steel drums, combustible material, accounting for on average 70% of the total, being segregated from incombustible waste. The drums are temporarily stored in the open or in a covered building; in future the waste will undergo volume reduction (by incineration, milling or compression as the case may be) and final packaging (incorporation in cement concrete of the pozzolan type). Regarding the final destination of solid radioactive waste, I have to say that in Italy, as indeed in many other countries, no precise indications have been given as to what should be the final destination of this material. As I stated before, present practice is to leave the waste at the place of production, particularly as the volume of waste produced at present is not very substantial.

Although not without disadvantages, this solution appears to be the only one possible for the moment. Public opinion in Italy is not yet disposed to accept the idea of a "radioactive burial ground", i.e. an area used solely for the disposal of waste, unless it is accompanied by industrial or research nuclear activity able to bring compensating benefits to the same area. This negative attitude, being determined purely psychologically, can only be overcome by degrees, as the public gradually becomes familiar with the problems of nuclear engineering. More concretely,



for the application of this criterion of gradual acclimatisation, a first step might be to use the storage area of an installation to accommodate waste from other installations as well as the particular one concerned, if the general characteristics of this area are more favourable. These storage sites could also be used by small-scale users of radioisotopes who have no means of individually solving their solid waste problems. This would at least avoid the dissemination of storage facilities all over the country and greatly simplify the problem of monitoring them. The idea of unlimited or long-term stores also receiving waste from outside should not arouse unfavourable reactions from the population.

Later on, it will be possible to think of actual stores, i.e. facilities not necessarily linked to nuclear installations, so that the burial grounds which are today frowned upon by the public come to be accepted. Indeed, studies have for some time been in progress in Italy for the identification of areas suitable for the possible setting up of permanent storage facilities for solid radioactive waste in the superficial formations of the ground. Regarding the legal framework for these storage facilities the feeling is basically that these should be established on publicly owned land, with possible private management, but under the control and technical supervision of the State authority.

An alternative to disposal on land is the dumping of waste at sea. However, opinions on the desirability of this procedure are divided, and indeed, it cannot be denied that it has international political and administrative implications, raising a series of scientific, technological and economic problems. In order directly and realistically to assess the incidence of the above factors, Italy participated experimentally, with a small batch of waste (100 drums totalling 45 tonnes containing approximately 2 curies of alpha emitters and 3 Ci of beta and gamma emitters), in the international operation of dumping packaged solid radioactive waste in the Atlantic carried out under the auspices of the ENEA in the summer of 1969. The experiment showed that—from the technical point of view—dumping in the ocean is a possible solution to the problem of the final destination of low-level packaged radioactive waste.

Clearly, a reasoned decision as to what should be the destination of the solid radioactive waste produced in Italy cannot be taken unless and until full information is available to permit a comparative evaluation of the various possibilities, so that the optimum choice can be made. The siting studies mentioned above, and the Atlantic dumping experiment, were aimed precisely at the concrete acquisition of some of this information.

\*  
\* \*  
\*

Mr SOUSSELIER asked Mr Branca for some additional information about the production of waste by reactors. "Mr Grison had given a figure of 100 m<sup>3</sup>/year per reactor for the production of waste. You have given quite different figures for several reactors, especially the ones at Garigliano and Latina. Can you explain this difference? Are these estimates due to accidental factors or is this normal, because the reactors belong to different systems?"

Mr BRANCA: "I consider that the main reason for this difference lies in the fact that the Garigliano reactor is the one which has operated most regularly and hence for the largest number of hours per year. The other plants have had shutdowns, some of them prolonged, so that I would say that of the figures given, the ones which represent a normal situation are those for Garigliano."

Mr SOUSSELIER: "I should like to return to an important point that you made regarding the possible reaction of public opinion to the setting up of a storage facility. You consider that public opinion will come to accept the setting up of a storage facility for waste produced by the centre established in the region concerned. However, you feel that public opinion would be hostile if a storage centre were set up in a location where there was no research or production centre. In France we have had similar difficulties; whereas public opinion has practically never objected to the fact that a research or production centre produces waste, the opposite has been found to be the case when we have proposed the setting up of storage facilities away from the centres where the waste originates or even separate from the production centres. This seems to me to be an extremely important point, on which further discussion is necessary when we come to items 3 and 4 on the agenda. It has implications which are of their essence hard to accept for experts, especially from the radiological viewpoint. The problem is indeed very different: the life of a power station, according to the various experts, may be put at between 25 and 30 years. Obviously, once you have a site, if a station is closed down, others can be built on the same site, and this also applies to the different installations producing waste. The life of a reprocessing plant is also put at about 20 to 25 years, but here again, theoretically, there is nothing to prevent the construction of a new plant once the old one is closed down and dismantled. However, in both cases, there may be factors mitigating against the construction of a new reactor on the site of one built 25 or 50 years earlier. The regions in which the electricity generated will be consumed may vary with economic factors which have nothing whatsoever to do with nuclear problems. Now the life of a storage site associated with the production centre would be much longer,

since a storage facility, when it is necessary to use it for long-lived radio-nuclides, may be regarded as permanent, at least on our own scale, i.e. it will be there for several centuries. Furthermore, the criteria for the establishment of a storage facility are different from those for the construction of a reactor or production plant. This is therefore a very important point, which ought to be discussed around this table. In France, it seems that we have the same opinions as in Italy on this point. But first of all, it would be a good idea to discuss the measures to be taken to prepare public opinion. This is obviously a long-term business."

Mr LENZI: "I should like to add something to what Mr Branca said: the problem of maximum safety and health protection is certainly considered whenever radioactive waste is to be disposed of in the ground. I would also add that the system of burial in trenches above the water table seems to me acceptable provided that certain environmental conditions are fulfilled. At present meticulous research is in progress into the final destination of the radionuclides in the environment, and to avoid as far as possible contamination of the water-bearing strata. You may be interested to know that the Trisaia nuclear research centre also buries radioactive waste of low and very low specific activity in trenches, contained in sealed plastic bags; on-site studies are then carried out of the possible implications of the migration and dispersion of radioactive ions in the ground and in the ground water."

Mr SOUSSELIER then asked Mr Krause to give details of the solutions at present adopted and future trends for the storage of radioactive waste in Germany.

## 2—GERMANY (FR)

Mr KRAUSE: "I should like to go back to the psychological effect: we had considerable difficulties at the Karlsruhe centre 10 or 15 years ago. After the plant had been operating for some years, public opinion having calmed down to some extent, we decided to collect radioactive waste from the Land Baden-Württemberg. This waste corresponded to 5% of the amount stored at the centre. New difficulties arose: the population was afraid, because of only 5% of low-level waste, that the Centre of Karlsruhe was becoming a burial ground for radioactive waste. Another example: because of the resistance of the population, we failed to achieve the construction of a permanent disposal cavern. On the other hand, as Mr Branca mentioned, it was quite easy for us to manage to use an

abandoned salt mine as a store, perhaps because it provided employment and hence was of economic benefit to the population.

Regarding the storage of waste, in Germany every large nuclear plant is obliged to have temporary storage facilities on the site (waste from small university institutes is collected at the large centres of Karlsruhe, Jülich, Hamburg and Munich). Since 1967, we have been storing all the waste produced at the Asse salt mine, and intend to continue to do so. This mine is suitable for low-, medium- and high-level waste. The theoretical usable volume is approximately 3 500 000 m<sup>3</sup>, which should be enough to last until the year 2000. Regarding the high-level waste, we are at present working on the distribution of heat in the salt. We need a great deal of room because we wish to leave a distance of 10 m between each borehole. According to our calculations, at the centre of a container, the limit temperature would be 600 to 650 °C, and approximately 350° on contact.

We do, of course, have difficulties with waste which gives off radium or tritium, as we do not want staff to have to wear gas masks. In exceptional cases, for very small quantities, or where transport to the salt mine would be too expensive, we propose disposal in the ground.

We have also another project, not for storage, but for discharge. In Karlsruhe, we wish to try to discharge radioactive liquids into a suitable geological stratum at a great depth although in the future we shall have to solve the problem of tritium, which cannot be decontaminated and which we do not want to discharge into the sea. To begin with, we shall be injecting 30 to 40 curies/day of tritium on a trial basis. The depth of injection will depend on the results of exploratory borings. We are considering a depth of 2 000 to 2 500 m; oil is found in this area at a depth of approximately 400 to 900 m."

\* \* \*

Mr BRANCA: "If I have correctly understood you, Mr Krause, the use of a salt mine as a store for radioactive waste has been accepted by local public opinion because this has relieved the unemployment problem. May I ask to what extent this is true: in other words, how many persons were taken on and how many will be likely to be employed in the future for working the storage mine?"

Mr KRAUSE: "At present there is a staff of about forty. This figure will probably remain stable."

### 3—LUXEMBURG

Mr KAYSER: "In Luxemburg, we have only industrial waste, which is of course negligible in comparison with the volumes or curies of other countries. In general, we compel importers of radioactive substances to return them after use to the exporters. As a result, we have no storage problems."

### 4—NETHERLANDS

Mr SEEGER: "The situation in the Netherlands is virtually the same as in Luxemburg. Fissile materials from the reactors are sent back abroad for processing and other materials, i.e. those used by industry and hospitals—unless they are very short-lived—are collected by the Netherlands radioactive materials collection service, gathered together by the RCN (Netherlands Reactor Centre) in Petten, and may then be taken into the Atlantic for dumping under the ENEA arrangements."

Mr SMEETS (Netherlands): "Because of the high ground water level and the density of population, burial in the ground or storage in any other way of large quantities of waste is not accepted either by the authorities or by the population. In any case, this would be practically impossible. Consequently, regarding low-activity waste, the only course open to us is dumping in the sea. Since the Netherlands does not yet have any power reactors or reprocessing plants, high-activity waste constitutes much less of a problem. Production is at the most a few tens of cubic metres per annum, and storage facilities have been provided for these at the Petten centre. In any case, I believe that the setting up of storage facilities on land is to some extent just shelving the problem. After all, the sea is a truly enormous storage facility! It is true that control is less easily exercised; research can be carried out on an international basis into the behaviour of radionuclides on the sea bottom."

\* \* \*

Mr SOUSSELIER asked the Netherlands representatives two questions: "You have said that you have a storage facility at your research centre in Petten and that you regarded it as permanent. If it is a permanent facility, what precautions have you taken, in view of the difficulties you have mentioned, i.e. shallow water table and high population density?"

The second question is: have you considered the possibility, just mentioned by our German colleague, of the injection of certain liquid waste at great depths?

I imagine that if you have problems with the water table, there must be possibilities of deep storage?"

Mr SMEETS (Netherlands): "The storage facility for high-activity waste consists of a concrete cellar containing a number of asbestos cement pipes which are sealed off on top with a layer of 1.10 m thick concrete, and in which the high-activity waste is stored in sealed steel cans.

At present we have approximately 100 of these pipes in the concrete cellars in a ventilated building. This is in fact both a temporary and a permanent storage facility. The high-activity waste is taken from the concrete cells for research projects of the supercritical research laboratory. It is not possible to distinguish between high-activity and low-activity material in these concrete cells. In general, therefore, the waste from one of these cells is taken to be high-activity waste.

I thought, also on the basis of experience in England, that about 90% of the waste stated to be of high activity is in fact not at all of high activity. It should therefore be possible to process these materials or dump them in the sea. The only difficulty is that it is necessary to build an installation to permit separation of the two categories of activity and to concentrate them; an installation of this kind is now being designed. The high-activity waste must be definitive, but we must take out those 90%. As regards injection into deeper layers, this can only be done with liquid waste. Liquid waste is not, or is hardly at all, a problem for us; most of ours is of low activity and is discharged at sea, although up to a permitted maximum of 15 mCi/day.

I wonder whether injection in the ground is possible when the economic aspects are taken into consideration."

## 5—FRANCE

Mr SCHEIDHAUER: "Quite quickly, remembering my experience is based mainly on the centres of Marcoule and La Hague, we originally adopted the system of storage at the centres. We now have the Infratome store: this company would like to collect the waste from both individual producers and the Commissariat à l'Énergie Atomique, in a relatively favourable area.

This para-industrial aspect of waste disposal is quite limited, or rather diversified. Each centre has attempted to use, I won't say its "own" method, but the method which seemed to it the most convenient, taking account of its location. At the La Hague centre, we began with storage in trenches in the earth. High-level waste containing decladding residues is stored in concreted silos. Waste from effluent treatment is also stored in silos. Some medium-level waste has been stored in small concreted trenches. At present, a transfer is in progress to the Infracome permanent facility, which uses small concreted trenches, thus permitting the isolation of waste labelled "high level" without an upper limit, but which is in fact mostly medium-level waste. The low-level waste is stored in trenches in drained earth."

\*  
\* \*

Mr SOUSSELIER asked Mr Barbreau what studies had been carried out in connection with long-term storage.

Mr BARBREAU: "This is what has been done with this in mind: we have studied the various surface stores set up by the Commissariat, the Infracome store and the store at the La Hague centre, from the point of view of radiological safety. We have also studied the stores at Marcoule and Saclay, and in particular the one at Cadarache, and researched new solutions, in particular for disposal in the ground. We have looked for sites for the disposal of solid or liquid waste in saline formations at great depths, in the Bresse and Valence regions. We have also examined the possibility of injecting liquids at great depths, as is now being done in Karlsruhe."

Mr BRANCA: "Mr Chairman, I should like to ask our French colleagues for some details about the French participation in the dumping of radioactive waste in the Atlantic carried out under the auspices of the ENEA in 1967 and 1969. Since the port of embarkation was Cherbourg, near the La Hague centre, why on earth did they not participate in the experiment with waste from this centre, and indeed from Marcoule? Also, why was the waste from Marcoule, once it had been brought to Cherbourg, not sent on to the store at La Hague?"

Mr SOUSSELIER: "With your permission, Mr Branca, I will answer this question by returning to certain points made by my CEA colleagues. In France, it was originally intended to store waste at our various sites, and in particular at our Marcoule and La Hague production centres, or

even at certain research centres such as Cadarache. However, the disposal of waste raised certain difficulties at some of the Commissariat's sites.

The first of these was our plant at Le Bouchet; as you know, our Le Bouchet plant was one of the first Commissariat centres, having been opened in 1946. It is in the outer Paris area, about 40 km south of Paris. At this centre we used to refine uranium, i.e. we processed the uranium concentrates produced by our mines to give uranium oxide or metallic uranium, depending on the eventual destinations. Of course, we did not have much of a waste problem, and such waste as there was was of quite a low level, because we were dealing with natural uranium in the concentrated form, at a stage when radium and its daughter elements had already been eliminated. But there was also, and indeed there still is, at our Le Bouchet plant, which is due to be closed down shortly, another installation, for the processing of thorium uranium ores. This plant processed ores with a high tenor of thorium and uranium, the total of thorium plus uranium being up to several tens per cent, or sometimes even more than 50%. This ore (from Madagascar) had been physically concentrated at the place of mining, so as to enrich it without prior separation. In other words, all the radioactive daughter elements of uranium and of thorium were present. As a result there was a substantial production of medium-level and even fairly high-level waste. Now the situation at Le Bouchet was very unfavourable; the water table was practically at ground level, we had a relatively dense population, and the water was used for the domestic supply; for this waste we set up a permanent storage facility in the "head" of an abandoned uranium mine. This was in central France, some distance to the north of the Massif Central, in the Morvan—for the benefit of those who know our country. Over a period of about ten years, we have stored a fairly considerable quantity of waste. I do not know if Mr Pradel has the figures here, but there are several tens of thousands of drums of low or medium level. The drums were placed in one layer and then covered with a layer of deads from mining, as the land was granitic, and so on with alternate layers. There is, of course, some degree of lixiviation in this uranium-bearing ground of an abandoned mine head. Natural lixiviation of the soil transports a certain amount of uranium and a certain amount of radium into all the rivers in the region. The only worry was to establish and check, when this facility was set up, the perceptible increase in the contents of uranium or radium in the hydrographic network.

However, in spite of the advantages of this solution, it could not be developed for very large quantities of waste. In any case, the problem, as far as the Le Bouchet centre was concerned, was bound to become



less acute, since our programme provided for its closure. The second waste problem concerned the other centres in the Paris region, Fontenay-aux-Roses and Saclay. In Fontenay-aux-Roses virtually no land is available. It is our smallest centre as regards area, and the storage of waste on the spot is out of the question; it is just physically impossible. Regarding Saclay, Mr Barbreau has said that we have been experimenting with deep storage in the context of a radiological safety programme.

To return to Mr Branca's question, let us examine the problem of Marcoule and the difference between Marcoule and La Hague.

The establishment of Marcoule was decided upon basically in accordance with the characteristics required for the main plants set up, i.e. the plutonium-producing reactors and the plutonium extraction plant. The Marcoule site was chosen in 1953, at which time we were quite familiar with certain problems of atomic energy connected with reprocessing plants.

On the other hand, we did not have a very good idea of the volume and activity of this waste. The Marcoule site was thus chosen with a view to the cooling of the piles, hence the necessity of construction near a river with a considerable flow. We were relatively limited in France; at the beginning, we needed easy supplies of electricity for the plutonium extraction plant and subsequently, once we had more piles, we had to be able easily to return the amounts generated to the grid. We therefore needed sufficiently firm soil to permit the installation of facilities such as our plutonium-producing reactors, which exert considerable pressure on the ground, and for which we did not wish to have to undertake very large-scale earthworks and supporting structures, etc. Finally, whilst we had to be close to a river, we had to be out of reach of flooding, but not too high, otherwise the cost of the plutonium would be increased by the considerable cost of the energy required to cool the reactors.

All these considerations led to the selection of the Marcoule site. It was only later that we became aware of the problems of disposal of low-level waste. For the storage of high-level waste, we adopted the solution universally applied, i.e. stainless steel tanks in concrete blocks. This is undoubtedly a very safe and expensive solution, but it is not permanent, and as you know, we now have a prototype plant for incorporation into glass, which takes a fair proportion of our output. When we found that the volumes of solid radioactive waste deriving from the solid and liquid waste from effluent treatment were considerable, we were in a position to set up a permanent or a temporary storage facility on the site. You will certainly remember, especially as it was in every newspaper at the time, that we proposed to dump radioactive waste in the Mediterranean

in 1960, i.e. just a few years after our site started up. In our view, this operation was wholly experimental in nature; its aim was to permit a technical, radiological and economic assessment of the conditions under which this programme might be continued. However, a combination of factors compelled us to cancel this operation. We were therefore faced with the old problem, that is, the establishment of temporary stores. We had amounts of waste which were increasing regularly, for which a solution had to be found. For Saclay, we had proposed, from 1962-1963, but especially in 1964-1965, the setting up of a storage site. After a fair amount of research and surveys, both economic and radiological, it was decided to set up the Infratome centre to collect the radioactive waste from the Paris region, and as Mr Scheidhauer has just said, not only CEA waste but also waste from Electricité de France. As you know, except for the Bugey power station, which has not yet started up, the nuclear stations in France are at present all in the Loire valley, and are thus at reasonable distances for the storage of waste at La Hague. Infratome was also to collect waste from hospitals, universities or private plants, but at the present time only relatively small quantities come from these.

When in 1965 the European Nuclear Energy Agency mooted the idea of a joint operation in the Atlantic Ocean, we first thought that it would be a good idea to have Marcoule participate. There were relatively large quantities of waste which had not been packaged for permanent storage. This operation took place in 1967; we sent a number of drums, in particular drums of sludge deriving from the first years of operation at Marcoule before our sludge encapsulation (liquid effluent bituminisation) station was operational. The idea was to participate in a sea dumping operation using Mediterranean ports; Marcoule is about 100 kilometres from the Mediterranean. Economically, it would have been much easier and cheaper to load this waste at a Mediterranean port rather than transport it right across France.

Cherbourg was chosen because we had not forgotten the psychological difficulties with public opinion at the time of the 1960 operation. Following unofficial contacts at certain levels, the high authorities of the Commissariat considered it would be preferable to pay the additional cost of the longer overland transport between Marcoule and Cherbourg than between Marcoule and a Mediterranean port, so as to avoid any confrontation with public opinion.

Why did we not participate with waste from La Hague? It was 1967, and the extent of participations had been determined already in 1966. At the time, the La Hague centre was just starting up. We had

already arranged for a permanent storage facility on the site, taking account of the site environment, a peninsula surrounded on three sides by the sea; the situation was favourable on the geological level and especially the radiological level. It was therefore reasonable in 1967 for us to participate only with waste from Marcoule. When the ENEA asked us to take part in a second operation, we already had a considerable amount of waste at Marcoule, and our storage facilities were quite full. At La Hague, on the other hand, our storage areas were by no means full, and the Infratome site, which had just been set up, gave us other possibilities. At that time, there were two considerations: the economic and the practical viewpoints. On the practical level, it was necessary to remove some more of the drums occupying our storage areas at the Marcoule site, and on the economic level the 1967 operation, although expensive, had been worth while from the technical point of view, in connection with the difficulties encountered and with public opinion about the operation, under the aegis of an international organisation. We felt that taking part in a second operation would allow us to take a closer look at the cost problem and to determine the advantages of permanent storage of this kind of waste.

There was therefore no reason to participate with waste from La Hague, but, of course, it would have been possible to use the Mediterranean ports. I think that this would have interested our Italian colleagues. But once again, in view of the psychological problems with public opinion at the time, those in charge of the Commissariat did not want to take the risk of using a Mediterranean port. This was the reason for the paradoxical situation, brought out by Mr Branca, of the disposal of waste from Marcoule via the port of Cherbourg, near the La Hague site. We shall not, of course, continue indefinitely on this basis; there has been a change in the aspect of our waste problem at Marcoule with the commissioning of the sludge bituminisation station, and other research is in progress. I know that the ENEA has just organised a survey of member countries on whether they would be interested in participating in a further operation. First of all, however, certain difficulties have to be solved: problems of financial guarantees and provisions of maritime law. Should we participate, and without wishing to pre-empt the decision to be taken by the high authorities of the CEA, I believe that our participation would be with waste from Marcoule, shipped from a Mediterranean port; this is the only way in which the operation can be defended economically as compared with ground storage. No final decision for Marcoule has yet been adopted; the existing waste, bituminised or incorporated in concrete, gives us plenty of time to continue our economic and safety comparisons, which are the subject of research now in progress in our specialised departments, with a view to the adoption of the optimum solution."

## 6—BELGIUM

Mr VAN DE VOORDE: "Ten years ago we began to consider a storage facility on the ground, or rather in the ground, primarily at a location in West Flanders with a low ground water level and low clay (approximately 100 m). After several years of research connected with a thorough study of bitumen packaging, we came up against serious opposition from the local authorities. Public opinion was against a storage facility of this kind. Then came the possibility of disposal in the deep sea, i.a. in the ocean at depth of 5 000 m. The choice was very easy for us, since the waste was packaged for safe storage in the ground, so that it was certainly suitable for permanent disposal 5 000 m below sea level. This solution was immediately adopted, and ever since we have maintained this policy of good packaging and disposal in the sea.

Paradoxically enough, we have to reckon with public opinion, turning against this kind of disposal, so that we shall have to resort again to a method to which it will certainly object. For this reason we are now trying to develop methods which will certainly represent a step forward, i.e. as great as possible a reduction in volume. In our view, public opinion is strongly influenced by the volume, and not so much by high activity. For this reason an important contribution can be made by volume reduction".

\* \* \*

Mr SOUSSELIER: "I believe that you have drawn our attention to a very important point: that of volume. Public opinion is often much more sensitive to problems of volume than to problems of activity. We have to allow for this, probably for some years, or even some decades. We have to develop methods of reducing volumes as far as possible in order not to frighten public opinion in our respective countries.

We are faced with the complex problem of public opinion. We must meet this by a psychological information campaign; we cannot ignore it and it must guide us."

Mr KÜHN: "I have one small question and one larger one. You said that waste was disposed of in Le Bouchet in an abandoned opencast mine or quarry. Can you please tell me what is the nature of the rocks and whether there were also underground workings?

The second question is of rather broader scope and is particularly relevant here in La Hague. This morning we heard that the La Hague plant has an annual capacity of 900 tonnes of irradiated nuclear fuels. I

should very much like to know about the French philosophy concerning the treatment and permanent storage of high-activity fission product solutions. In your paper you mentioned that a consolidation plant is at present undergoing trials in Marcoule. Will waste continue to be stored in liquid form underground in tanks, or is a large-scale consolidation plant to be constructed? What happens to this solidified fission product solutions, in the form of glass bodies? Is a permanent storage facility also to be built there? What happens to the waste from Marcoule, which acts as a plutonium centre and plutonium production station? Is waste containing plutonium separated out? The half-life of plutonium is enormous and may be far in excess of those of strontium-90 and caesium-137. This is a geological time-scale."

Mr SOUSSELIER: "I thank you for your questions and will attempt to answer some of them myself; I will ask my colleagues to fill in the details:

Storage of the drums of waste from the Le Bouchet plant was on the surface, with alternate layers of waste and of deads, which were, of course, of the same nature as the surrounding ground, i.e. granite."

Mr BARBREAU: "The ground consists practically of granite. From the hydrological point of view, the ground water is very close to the surface in the weathered and fissured part."

Mr PRADEL gave some further details: "This is a surface storage facility. The topography of the site is basically as follows: we had naturally sloping ground near the mine head where the shaft was located. The drums were placed in alternate layers and covered with mine deads which had previously been stored in this area. Below this, there was a ground water table, whose activity was easy to monitor, since there was a shaft for supplying water to the mine installations. After ten years of measurements, we never found any significant activity in the water table; only in the run-off water, we find radium concentrations of about ten times the maximum permissible concentration for populations."

Mr SOUSSELIER: "I think that answers Mr Kühn's first question. The second question concerns our waste at La Hague and our philosophy for the future for the storage of fission products. For fission products, initially, we have opted for storage in concentrated liquid form, for both Marcoule and La Hague. In Marcoule, we have had a pilot plant in operation for just over a year now for the incorporation of these products in glass. Depending on the results, we shall take final decisions about

storage for Marcoule and La Hague. We consider that the method of storage used at present, in liquid form in stainless steel tanks, themselves incorporated in concrete blocks lined with stainless steel, is an extremely safe method for a minimum period of 20 years. This means that, in view of the start-up dates of our centres, and in particular of La Hague, we still have plenty of time to take a final decision. We cannot yet state categorically what the eventual solution adopted will be. In the future we shall certainly resort to solidification of these fission products. In contrast to the school of thought represented by our British colleagues, we do not favour the solution of tanks replaceable, for example, every 50 years. This does not appear to us to be a solution which is economical and reasonable as regards radiological safety. It is still necessary to choose between the different methods of solidification, on the basis of our experience and of experience gained in other countries of the Community or in the United States.

To return to the particular case of La Hague, it is also possible, in view of the geological nature of the land and the environment, and of the fact that the site is surrounded by the ocean on three sides, for us to decide on the setting up of a permanent storage facility on the spot. This decision will take some time; the radiological safety targets must be reached and the standards laid down by our experts observed. In this connection, we shall adopt the most economical solution. We do not consider that we at present have sufficient information to take a final decision.

Of course, the system adopted in Germany, which Mr Krause has described to us, is certainly very favourable, but it is not certain, in the French case, in view of the possible locations for storage sites and the present location of the sources of production, that this is the most economical solution.

For waste containing plutonium, this is a false problem, or rather an ill-defined problem. What does one mean by "waste containing plutonium"? Is this waste containing a measurable quantity of plutonium or quantities of plutonium exceeding a certain limit?

In the first case, there is not much of a problem. For example, radium, from the radiological viewpoint, has similar characteristics to plutonium; now in granite you have very small quantities of plutonium, but this doesn't prevent the building of houses from this material. It cannot therefore be said that all waste containing a measurable quantity of plutonium is therefore waste containing plutonium. It is necessary to establish a definition, as all fission products contain certain quantities

of plutonium. In the best results obtained by the reprocessing plants in France, about a thousandth of the quantity of plutonium is found to remain with the fission products.

In this field, the results of our CEA plants are similar to those obtained by our British and American colleagues.

The risk of plutonium is greater in certain solid waste from laboratories in which plutonium is processed. Our philosophy is to reduce these quantities of waste. Plutonium is a very expensive material, and we have no advantage from disposing of it; its very long period also involves special precautions.

For these reasons we separate our solid waste by a method based on the 380 keV gamma emission of Pu to determine the quantity of material exceeding a certain value. This waste is incinerated and the plutonium thus recovered. In this way we manage to reduce very substantially the amounts of waste containing plutonium. In some cases, when we have substantial quantities of waste, they are stored at the Infracome centre. This storage process involves several containing envelopes, and we estimate, according to our knowledge of the resistance of particular materials, that they will remain good for extremely long periods of time.

Furthermore, the La Hague storage site is surrounded on three sides by the sea, and in the case of very long-lived elements, with periods of several centuries, such as plutonium, if there is lixiviation, it will be very slow and directed towards the sea, which would provide a sufficient guarantee.”

Mr MECHALI: “Mr Chairman, you will not be surprised when I tell you that hygienists are not opposed to the viewpoint you have just expressed. However, I am afraid that when this radioelement is placed on or in the ground, the assessment cannot be based on this criterion alone. To assess the risk of a radioelement, it is necessary to examine its transfer in the environment and the paths by which it can return to man. If plutonium has for a long time been regarded as an extremely dangerous radioelement, this is because it was studied particularly from the point of view of occupational risk. Plutonium is indeed a very dangerous radioelement when inhaled, but this does not apply to other transfer paths. It is a radioelement which is not readily transferred, if I may put it this way, between the environment and plants, and hence to man.”

Mr BARBREAU: “Mr Chairman, I should like to ask Mr Van de Voorde for details of the sea immersion tests.”

Mr VAN DE VOORDE: "These were mainly tests of the elution of bituminised sludge in sea water over a period of several months."

Mr BARBREAU: "We had also carried out tests at great depths with drums in the Mediterranean. These tests, at a depth of 2 500 m, related to the behaviour of the drums over time, combined with studies of currents. The difficulty was to locate the drums; we had positioned a floating buoy with a cable, which was accidentally removed by a passing vessel. In your depth tests, did you obtain any results?"

Mr VAN DE VOORDE: "In tests of this kind, i.e. tests of elution under high pressure, we reached about 50 atmospheres. After the test we found that our specimen had completely disintegrated."

Mr PRADEL: "I should like to return to the question of public opinion. Mr Branca has told us that the only possibility of setting up a storage facility or burial ground was the use of the actual centre. I believe that we have made progress, because we can now set up a site near a centre and bring to it waste from another centre. We have thus overcome one hurdle, and the second hurdle was the storage of drums of waste at the surface of an abandoned mine. We have made progress with public opinion without raising difficulties. In this field, we can hope to make further progress and gradually proceed to this type of storage. I consider that one line of approach to the setting up of a burial ground could be as follows: in many countries, in particular in France, there are burial grounds used for non-radioactive toxic substances; I wonder to what extent we could dump radioactive waste in these, mixing it with other toxic waste. This would be one line of approach for the setting up of burial grounds in areas where it is intended to establish them."

Mr SOUSSELIER: "This is an interesting point; indeed, when you are confronted by a problem, it is worthwhile contemplating several lines of approach, in order to see which ones will turn out to be the most profitable."

Mr CANTILLON: "Mr Chairman, in my view, at the present stage in the discussions and comments, there are two trends, or at least two groups of countries which can be differentiated. There are small countries like Belgium, which have well-defined geological and hydrographic peculiarities. I consider that in this connection our national characteristics are closest to those of the Netherlands. We have not the same space available as in other, larger, countries, which have huge peninsulas surrounded on three sides by oceans."



Obviously, on the first point, there does not appear to be an overall solution, unless, in a Community spirit, the favoured countries were disposed, on certain conditions, e.g. regarding the characteristics of the drums, to accept material which cannot be stored in our countries. This goes outside the terms of reference of this meeting, but, as Mr Van de Voorde has already pointed out, we are in practice compelled to proceed in accordance with the trend and to use abandoned mines. At the present stage, therefore, we must as far as possible envisage the direct disposal of waste into the sea."

Mr SOUSSELIER: "I think you are perfectly right; the problem takes a different form according to your country, the geology of the ground and other conditions. You raised the question of whether it might be possible for certain centres in some Community countries to accept waste from other countries. Basically, this is one of the aspects of the public opinion problem with which we are ourselves faced. I consider it is a solution which should be contemplated. Obviously, it will no doubt be necessary first to overcome the difficulties with public opinion at national level, before we can contemplate the provision of facilities for other Community countries. It is certain that if we accepted, overnight, waste from other countries in existing storage sites, we should have difficulties. But I believe that the situation can nevertheless evolve quickly; this evolution may be one of attitudes in relation to European collaboration, or simply in connection with differences in nationality between the different member countries of the Community. Going back 30 or 35 years, there were certainly scientific meetings at which collaboration in certain fields was urged. This spirit had always existed in the scientific world; but I believe that it hardly ever went beyond scientific aspects, and that even to contemplate the technical or practical aspects at international level for the disposal of waste was inconceivable. There is no doubt that once radioactive waste is admitted to a specific site from outside that site, from other parts of the same country, it is possible to envisage the storage of waste from other Community countries. It seems to me that where public opinion is concerned, it is important not to proceed too fast and without suitable pauses, otherwise there is a risk of taking up positions from which it would be difficult to retreat. Persuasion of the public by all the available methods of information will enable us to achieve this result in the near future.

Regarding plutonium waste, there is perhaps no fundamental difference between storing it in the ground with the possibility of lixiviation into the ocean and disposing of it direct into the ocean. Of course, with ground disposal we have an additional guarantee, but in many cases for all

relatively short-lived radionuclides, they will decay before they reach the ocean. The capacity of the ocean medium is considerable, but nevertheless this method of disposal is expensive and raises delicate problems. In addition, you have seen the difficulties met with by the ENEA with countries washed by the ocean when radioactive waste is dumped in it; although the ocean belongs to everyone, these countries consider themselves entitled to exercise some control over it. This is why it is desirable, and indeed essential, to have international collaboration in order to solve these problems.”

Mr KRAUSE: “Is the Infracome company private? What are the French laws on this matter?”

Mr SOUSSELIER: “From the legal viewpoint, the Infracome company is private, but it is wholly controlled by the CEA. The land used by Infracome for storage belongs to the CEA, and although it is responsible for nuclear safety, this does not mean that there is a law in France which lays down that this land, on which radioactive waste is stored, is in the public domain. There is in France legislation governing basic nuclear installations, all waste facilities or nuclear plants are subject to very strict requirements sanctioned by this legislation. The Infracome storage centre was examined by the Commission on basic nuclear installations, which stipulated the methods by which it was to operate.”

Mr BERLIN: “May I say something about public opinion in a country bordering the European Community, Switzerland. Last week, the Grand Council of Basle asked the Canton of Aargau to postpone the granting of a permit for the construction of a nuclear power station, because the safety guarantees for the population were insufficient in the opinion of the neighbouring canton. This year, being European Conservation Year, with a number of exhibitions on the problems of pollution, public opinion will certainly turn against us.”

Mr SOUSSELIER: “You are right, Mr Berlin, it is very possible that we shall have similar reactions in certain Community countries. Incidentally, in the State of California, there is a law banning the building of coal-fired or oil-fired thermal power stations. Public opinion is fundamentally distrustful of atomic energy, and we must all make an effort in this connection.”

\* \* \*

**III—THE INTERACTION  
OF RADIOACTIVE WASTE  
WITH THE ENVIRONMENT**



# Interaction between the environment and radioactive solid wastes disposed of on or in the ground

G. Branca (Italy)

## 1—INTRODUCTION

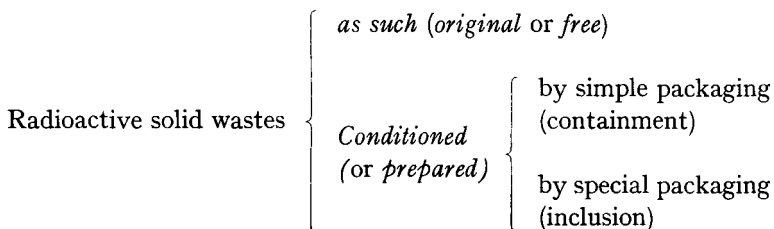
When the radioactive solid wastes to be disposed of are stored on the ground or discharged, a number of phenomena take or can take place. These phenomena are of a physical, chemical and even biological nature, and depend, obviously, as much on the characteristics of the site as on those of the wastes capable of liberating all or part of the contamination associated with them. Thus, it is very important, from the health physics point of view, to be able to forecast, with a reasonable safety margin, the behaviour of wastes having specific characteristics in a given environmental situation, and to determine, in particular, the irradiation which can reach man.

In this report we shall consider briefly the processes through which the environment can exert its action first on the wastes, degrading them and liberating the associated radionuclides, then on the nuclides themselves, determining their temporal and spatial behaviour.

A few definitions are given in elucidation of the terms used below.

Radioactive solid wastes in the same morphological state as that in which they were produced, will be termed *as such* (or *original* or *free*), while the wastes submitted to any manipulation intended to protect them from natural agents, and reciprocally, to protect the environment from radioactive contamination, will be designated *conditioned* (or *prepared*). In turn, the conditioning (or preparation) may consist of a simple *packaging*

of the wastes in containers (drums, bags, etc.) or the *incorporation* into inert materials, as can be seen from the following scheme:<sup>(1)</sup>



The materials constituting the waste, or on which the contamination is fixed, will be called *support material*. The packaging material will be called *containment material*. The matrix which includes the special packaged wastes, will be called *inclusion material*.

Function of the material	Main examples
Support	Metals, glasses, ceramic products, mortar and cements, woods, paper, cloth, rubber, plastic materials, varnish, etc.
Containment	Metals, cements, plastic materials.
Inclusion	Mortar and cements, asphalts, bitumens, glasses, ceramic products.

There are many possible methods for eliminating the wastes in the terrestrial environment; nevertheless, in order to study systematically the interactions with the environment, these various methods can be schematised as follows:

Surface storage	in the open in special structures (covered and enclosed shelters)
Storage or discharge underground	in contact with the ground (burying) in natural or artificial cavities (caverns, galleries, bunkers, wells, mines, etc.)

Finally, one must distinguish between *direct* and *indirect* actions of the environment on the wastes, the direct action being the one involving the

<sup>(1)</sup> The definition given for conditioning does not include the compression, incineration and other operations, which are carried out only to obtain a volume reduction of the wastes, and precede, therefore, any true and proper conditioning.

radioactive substances themselves (resuspension, elution, etc.), while the indirect ones involve instead the material which constitutes the support, the packaging or the matrix.

It is thus evident, that on the basis of the definitions given above, in the case of free wastes or wastes conditioned by incorporation, the direct and indirect actions can take place simultaneously; while, in the case of wastes conditioned by packaging, the indirect action occurs first and then may accompany the direct action.

## **2—ACTION OF THE ENVIRONMENT ON THE CONTAMINATION ASSOCIATED WITH THE WASTES (DIRECT ACTION)**

### **2.1—Wastes in free form**

The removal from the support material of the radioactive substances which are responsible for the contamination can occur through various natural causes, partially dependent upon the characteristics of the contaminated surfaces and the nature of the radioactive substances.

If the wastes are deposited on the ground surface, a resuspension into the atmosphere of the radioactive substances can occur through perturbations due mainly to air movements (*winds*) and other vibrations. It is important to note that the temperature and humidity can influence the phenomenon. In particular, the humidity, depending on the hygroscopic nature of the materials, can modify the adhesion conditions of the contamination on the surface, besides producing a cohesion phenomena between the particles. This creates agglomerates of which the grain is larger than the original one and thus prevents redispersion into the air.

Another natural agent capable of removing the radioactive substances from the support is water, i.e. rainwater, surface or underground waters. The possible action of water can be easily understood by considering the mechanism which retains the radioactive substances on the various bodies. The retention of the radioactive substances on the support may be due to mechanical adherence of the radioactive particles to the support material, electrostatic forces or finally, a contamination linked to the ion exchange activity of the support material itself.

If the surface is very smooth (sandstone, porcelain, glass), the forces capable of retaining the contamination are, in general, weak, and even the ion exchange reactions are slight. In this case, natural waters can easily wash away or elute the radionuclides.

However, if the material constituting the support is porous (concrete, bricks, terracotta, pottery, earthenware, wood) the contamination may have penetrated so deeply that, in practice, it can be removed only with difficulty by natural waters. The removal is even more difficult if the bonds are due to exchange reactions (as in the case of cationic radionuclides).

Even in the case of certain plastic materials and varnishes, due to the ion exchange role played by the carboxylic and hydroxylic groups, natural waters are not very effective in removing the radioactivity unless these waters are acid or have a high concentration of  $\text{Na}^+$  ions.

For textiles, paper, etc., the contamination, besides being due to an exchange reaction with the cellulose, is also due to the hydrophilic properties of such fibres which behave as sponges with capillary holes. A radioactive solution which comes into contact with such materials is absorbed; the subsequent evaporation leaves macrocrystals adhering to the fibre. This second type of contamination is easily removed by natural waters. These natural waters are, as has been already indicated, very ineffective in eluting the contamination fixed through ion exchange.

## **2.2—Conditioned wastes**

Only the case of wastes having a special packaging (incorporation) will be considered, since for those wastes having only a simple packaging (containment), the contact with the outside medium is excluded by definition, at least as long as the container remains undamaged.

Running waters constitute the only natural phenomenon capable of removing the radioisotopes dispersed in the matrix. The mechanism would seem, however, to be substantially one of elution of the radionuclides linked to the surface layers followed by diffusion towards the surface of the deeper radionuclides.

## **3—ACTION OF THE ENVIRONMENT ON THE SUPPORT OR CONDITIONING MATERIALS OF THE WASTES (INDIRECT ACTION)**

### **3.1—Introductory**

This action affects the support materials and, in the case of conditioned wastes, even the packaging or the matrix materials. The natural agents can, thus, modify the characteristics of such materials, weakening or



destroying chemical or mechanical bonds or links, consequently exposing the radioactive substances to the direct action referred to in the preceding paragraph.

Some of these forces are endogenous (earthquakes, volcanic phenomena, etc.). But they will not be considered here since it is taken for granted that, in the waste disposal site pre-selection, all the zones subjected to such phenomena, even when only potential, will have been excluded.

The majority of the forces responsible for the alteration and disintegration processes are, consequently, exogenous.

A rock just breaking through the surface of the ground is subject to disintegration due to various factors. The daily temperature fluctuation which produces alternate contractions and expansions promotes fissurisation and chipping of the rock. The rock fragments already chipped and ground by the action of wind and water exert, in return, an abrasive action. In the presence of water, the oxygen and the carbon dioxide of the atmosphere attack chemically certain rock components, and so forth.

Humid air and oxygen-rich water, are among the main agents causing very rapid degradation, even in the aerated zones of the earth's crust, mainly because underground waters are never chemically pure.

In turn, running water on the surface and underground, has a mechanical erosive action and dissolves certain salts such as chlorides, sulfates, and, under given conditions, limestones and even silicates. Plant and animal organisms also contribute, sometimes preponderantly, to the degradation of rocks.

All these natural processes, which have only been indicated above, can thus act also on solid radioactive waste, the alteration of which is, in the long run, nothing more than a transformation, or a series of transformations, by means of which the various constituents of the waste tend to come to equilibrium with the environment which is new to them.

A brief review will now be given of the possible causes of alteration and degradation of the materials which, depending on the case, form the support, packaging or matrix of the solid radioactive wastes, and the consequences thereof. The materials will be divided into metallic and non-metallic. The metals, mortars and concretes will be treated in greater detail as these are often used for containment purposes.

### 3.2—Metallic materials

When the surfaces of metallic bodies are placed in a given natural environment they may be subject to alterations due to *erosion* and, or *corrosion*. The erosion is mechanical in nature due to the abrasive action of winds and of the materials they carry, mainly quartz particles. This abrasive action has its main effect near the surface of the ground since the load transported by the winds decreases above a certain altitude, of the order of 1 or 2 meters. Even waters can produce erosion through the abrasive action of the transported solid materials (rock fragments and sand particles).

Corrosion, on the other hand, is mainly the consequence of an electrochemical reaction between the metal and the environment. In the present case, the metal can be in contact with surface or underground waters or exposed to air; thus, it will be, in general, in a more or less humid environment. The corrosion is then essentially due to the inevitable formation of anodic and cathodic areas on the metal surface. A series of electrolytic currents are thus created as a result of which the metallic ions go into aqueous solution and form hydrates, while hydrogen is evolved from the cathodic areas. In the absence of oxygen in the water, the formation of a hydrogen layer on the cathodic areas would have stopped the phenomenon by depolarising the elementary cells which were formed. The presence of oxygen serves to remove the hydrogen with which it combines and thus the process continues. But oxygen has another important effect; by fixing itself irregularly on the surfaces, so-called differential aeration is created, the effect of which is to place the adjoining areas of the metal in different conditions, viz. to create that non-uniformity of the surface conditions of the metal which is the primary cause of the formation of anodic and cathodic areas. Through the differential aeration effect, even perfectly homogeneous metals are subject to the corrosion phenomenon. All these phenomena are also influenced by the hydrogen ion concentration of the water in the sense that the more acid the water, the more intense also the corrosion phenomena, which, on the other part, practically never occur when the waters are sufficiently basic. The acidity of natural waters, and rainwater in particular, is due mainly to the free carbon dioxide contained in them. This is why, after oxygen, the presence of carbon dioxide is the next important factor.

Factors of lesser importance are: the rate of flow of the water to the extent it tends to remove mechanically the hydrogen which is formed on the cathodic areas, and the purity of metal, but which does not prevent in the long run, as already mentioned, corrosion through differential aeration.

Besides electrochemical corrosion, there is also corrosion of a purely chemical nature, which, in certain cases, may be considerable; for example, when the metallic bodies are buried in a particularly acidic soil.

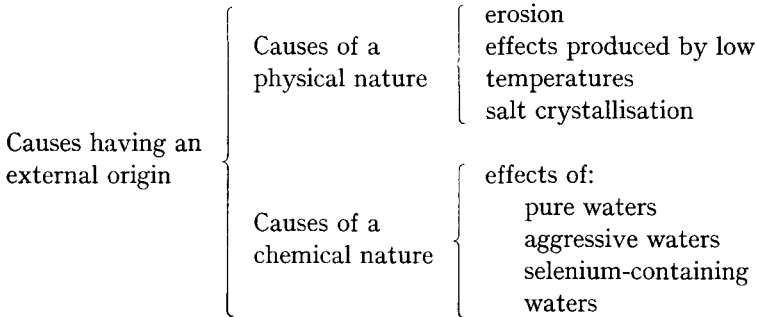
Corrosion due to aerobic (iron-and sulphur-reducing) and anaerobic micro-organisms is of minor importance, but is recorded here for the sake of completeness.

### 3.3—Non-metallic materials

#### 3.3.1—Cemented mortars and concretes<sup>(1)</sup>

Mortars, and consequently concrete, may be altered and even completely disintegrated by causes due to the binder itself (expanded concretes) and which are of no interest here. They may be also changed through external causes of a physical, chemical or biological nature, according to the scheme presented below:

Causes having an internal origin (expanded concretes)



The mechanism by which the external agents exert their effect will be now examined in detail.

*Erosion.* Here, as in the case of metals, aeolian and hydraulic erosion may occur; in both cases, the abrasive action is enhanced by the presence in the fluid of extremely hard solid particles.

*Effects produced by low temperatures.* Lowering the temperature produces solidification of the water inside the conglomerate, and thus expansion and rupture. The resistance to freezing is commensurate with

---

<sup>(1)</sup> By *cemented mortar* is meant a compound of sand and water, and by *cemented concrete* a conglomerate composed of mortar, as defined above, and gravel.

the porosity of the mortar and concrete. This porosity depends, in turn, on the relative amounts of components and on the preparation of the compound, as well as on the nature and quality of the cement. Obviously, this cause of disintegration may be important in cold countries.

*Disintegration resulting from the crystallisation of salts.* If conglomerate blocks are partially immersed in water having high salt concentration, mechanical stresses may occur, due to the crystallisation of the salts where water has penetrated in the pores of the concrete, by capillary action and has subsequently evaporated. The stresses thus developed may be considerable and lead to the destruction of the materials if these have a certain amount of porosity. In warm places, where evaporation occurs more readily, and where the soil contains alkaline salts and calcium sulphates, this phenomenon becomes very important. The phenomenon is equally significant for blocks subjected to alternate immersion and emersion.

*Effects of pure water.* Extremely pure water, deficient in carbon dioxide, has a disintegrating effect on concretes, since it removes any lime which is still free and, consequently, increases progressively the porosity of the conglomerates subjected to the washing out process. This action is particularly effective on Portland cements. On the contrary, *aluminous* cements, characterised, as is well-known, by the fact that their setting occurs through the liberation of alumina instead of lime, have a good resistance to the effect of pure water. Pozzolanitic and blast furnace cements, both deficient in lime, behave, in general, better than normal hydraulic cement. On the other hand, with ordinary water, the alteration phenomena of the Portland cement does not occur since the carbon dioxide and the alkalino-ferrous bicarbonates present in this water convert the free lime into carbonate, rendering the mortar impermeable and thus the structure more compact.

*Aggressive waters.* The above discussion refers to the case when free lime is present in the cement. But if the cement has completed its setting, or as soon as the free lime is combined, the action of the carbon dioxide contained in the water with which the conglomerate comes into contact is that of combining with the calcium carbonate, forming soluble bicarbonates. Experiments have even shown in many actual cases that the aggressive carbon dioxide attacks not only the carbonate, but even the calcium silicate. This attack represents the worst danger, since it affects the most resistant part of the agglomerate.

Pozzolanitic cements with a high silica content are those which resist best the action of aggressive waters, but it is not an absolute resistance. Surface waters with a low salt content are the most aggressive, the  $\text{CO}_2$

dissolved in the rainwater during the rainfall, or while running over the ground not having had the possibility of becoming neutralised with respect to carbonate due to the brief contact periods or through a lack of scarcity of carbonates in the areas traversed.

*Action of selenium-containing waters.* The action of sulphates is very much debated. In the case of Portland cements it is generally assumed that the calcium sulphate present in the water, reacting with the hardened cement, attacks the tetracalcium aluminate which is present as a solid salt. The resultant salt, calcium sulpho-aluminate, has a high apparent volume and causes disintegration of the cement. (This sulpho-aluminate has been called the bacillus of Portland cement.)

In alumina-rich cement, in which the bicalcium aluminate gives alumina in solution, the sulpho-aluminate is formed instead from the dissolved salt and does not produce swelling. Pozzolanic and blast furnace cements behave like the alumina-rich cements. In particular, pozzolanic cements resist very well, if, before the formation of the calcium sulpho-aluminate, the lime freed by the setting process had time to combine with the pozzolane. The solution becomes then sufficiently impoverished in calcium for the tetracalcium aluminate to be converted into bicalcium aluminate.

As for the magnesium sulphate, its action seems to result from its reaction with the lime, either free or hydrolised, forming calcium sulphate and liberating MgO. The calcium sulphate thus formed gives rise to the same inconveniences as those mentioned above, especially as stated with reference to Portland cement. Whatever the sulphate mechanism, it is possible, on the basis of experiments, to state that, in general, the cements having high basicity give easily rise to expansive sulpho-aluminate and thus are not very resistant to selenium-containing waters.

### 3.3.2—*Wood, paper, woven fabrics (with natural fibres)*

In general, these substances may undergo so many varied alterations by natural agents that they can be extensively degraded even in short periods of time. It is known, for example, that woods can rot through the fermentation of the albuminoid substances or through the action of bacteria and fungi. They can be gnawed by rodent insects and can undergo oxidation and hydrolysis processes through which they become easily breakable. Oxidation, in particular, converting cellulose into oxycellulose, a fragile substance practically incohesive, destroys the very structure of the wood. Of course the wood may also be subjected to such preservation processes as varnishing, tarring, impregnation with antiseptic solu-

tions, etc., but such treatments do not interest us here since wood is seldom used as material for the construction of containers for radioactive wastes. Wood, on the other hand, may constitute the support of the contamination (wood debris, panels of contaminated wood agglomerates).

Wastes formed by contaminated paper or natural fibre fabrics are a more frequent case. These substances, which essentially consist of cellulose, are easily attacked and decomposed by physical, chemical and biological agents.

### 3.3.3—*Asphalts and bitumens*

The bitumens employed for the incorporation of radioactive wastes are, in general, stabilized commercial products. They are almost completely insoluble in water and practically inert with respect to the ordinary chemical agents existing in nature. The bitumen are not fragile at low temperature and not subject to softening at moderately elevated temperatures. Therefore they resist well in suitable environmental conditions. For temperatures higher or lower than certain values which, while infrequent, are not impossible in certain locations, the bitumen tend to soften or to lose their elasticity, becoming fragile.

### 3.3.4—*Plastic materials*

In a broad sense, all synthetic resins are called plastic materials. In general, all these substances are resistant to abrasion and to corrosion by a vast variety of chemical substances. Thus they are particularly resistant to the chemical corrosion by the agents occurring normally in the environment. However, plastic materials, having normal compositions, soften at temperatures higher than 60 ° to 70 °C and become fragile around —10 °C. Certain plastic materials, through the effect of atmospheric agents, “age” mainly because of depolymerization processes which alter profoundly their mechanical characteristics.

### 3.3.5—*Ceramic products*

Ceramic products may be subdivided into two large categories: products having a *porous paste* (bricks, terracotta articles, earthenware, majolica ware) and products with a *compact paste* (grès, porcelain), respectively permeable and impermeable to fluids. The former may be sensitive

to frost, as in the case of mortar and concretes. Through the significant lowering of the temperature the water inside them freezes, setting up a state of stress which may, in turn, lead to fracture and disintegration. On the other hand, all ceramic products have in general a good chemical resistance, in particular towards acids.

### 3.3.6—*Glass*

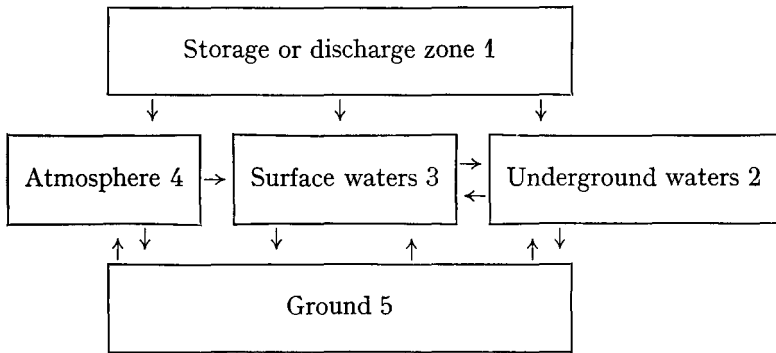
Glass usually has a good resistance to erosion and corrosion, especially to water. Nevertheless, some of its constituents, the alkalis, have a very slight solubility. If glass is employed as a matrix material for radionuclides, the dissolution frees a very small fraction of the contamination incorporated, and produces an increase in the total surface as well. Hypothetically, this increase enhances the elution phenomena which were described previously, but on this point definite experimental data is still lacking.

## **4—DISPERSION IN THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE RADIONUCLIDES ORIGINATING FROM SOLID WASTES**

Once the radionuclides responsible for the contamination of the solid wastes are detached from the support material or the matrix, they enter singly the environment. As discussed above, this separation from the support occurs mainly through atmospheric degradation and the action of running water. Once the radionuclides have entered the environment, their fate is linked to many factors as well as multiple and complex phenomena, which in fact, determine the path traced by an element in its natural environment. These phenomena have been frequently studied and observed both now and in the past and the relevant literature contains a substantial amount of experimental results in this field.

We are considering the possibility of grouping all natural phenomena into an overall model which, if necessary, could be treated by appropriate mathematical methods. This type of approach can be very useful from the health physics point of view, to the extent that the various transfer processes of radionuclides from one to another of the different environmental compartments are known quantitatively.

The model proposed here, shown in the following figure, is best adapted to furnish a general picture of environmental distribution and radioactive contamination.



This model, as can be seen, consists of a certain number of main compartments.

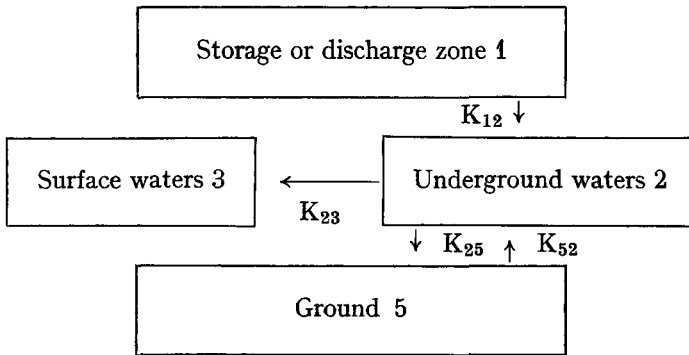
It has a sufficiently extensive character in order to cover most of the cases likely to occur. In practice, the model can be simplified if one of the compartments concerned is omitted, or if the role played by one of them is insignificant in comparison with the others. For example, in the ideal limiting case in which no contamination escapes from the zone pre-selected for the storage or discharge (the zone being completely impermeable) the model will consist of only the first compartment, and one will have a so-called closed system.

But the opposite case could also occur, and it will then be necessary to extend the study to specific transfer phenomena. In such a case, one or more additional *ad hoc* models will be necessary. The most important parameters which characterize the model are the *removal constants* (renewal) from each compartment and the transfer constants from one compartment to another. <sup>(1)</sup>

For example, in the case of wastes buried or placed underground at a sufficient depth and in such conditions that the contribution of atmospheric corrosion can be ignored, the model is simplified as indicated below:

<sup>(1)</sup> The removal constant  $k_i$  from the first compartment is defined as the fraction of the quantity of radioactive substance which leaves the compartment in a unit of time. If, on the other hand, the substance removed from compartment  $i$  enters compartment  $j$ , then one speaks of the *transfer constant*  $k_{ij}$ . Obviously, if all the radioactive material leaving  $i$  enters  $j$ , then  $k_{ij} = k_i$ ; inversely  $k_{ij} < k_i$ .





In this case the various transfer constants depend on:

- $K_{12}$ : erosion and corrosion phenomena produced by the underground waters which surround the wastes and by micro-organisms acting on the support, containment, and packaging materials. It depends also on contamination removal processes, generally included under the title of "leaching", but which can be of a varied nature as previously indicated (elution, dissolution, etc.).
- $K_{23}$ : exit phenomena from the underground, through natural causes, of waters belonging to the underground water table.
- $K_{25}$ : absorption, ion exchange, chemical reactions and co-precipitation, etc., phenomena which occur between the radionuclides and the soil traversed by percolation (in the evaporation and aeration zones) and by circulation (from the saturation zone). In the scientific literature, all these phenomena are lumped together under the generic name of diffusion. <sup>(1)</sup>
- $K_{52}$ : leaching phenomena (elution, disadsorption, etc.), produced by the underground waters on the soils on which the contamination was previously fixed.
- $K_1$ : the same phenomena as those connected with the transfer constant  $K_{12}$ .
- $K_2$ : the same phenomena as those connected with the transfer constants  $K_{25}$  and  $K_{23}$ , on dispersion and on the hydrodynamic transport of radionuclides by underground percolating (evaporation and aeration zones) and circulating waters (from the saturation zone).
- $K_5$ : the same phenomena as those connected with the transfer constant  $K_{52}$ .

<sup>(1)</sup> The presence of these phenomena, as is well-known, usually reduces the migration "velocity" of the radionuclides, to only a fraction of the convective velocity of water.

Once the model has been established, one can attempt to solve it with an adequate mathematical procedure. An appropriate one seems to be, for example, the compartment theory. This theory enables us to calculate the concentration of radioactivity present in the various compartments, both in transient and equilibrium conditions, when the values of the various parameters concerned are known or if reasonable theories can be made concerning these values. Mention has already been made of the extent of quantitative knowledge of the processes linking the various compartments, and it is certainly possible to foresee that in the future the totality of experiments and observations will permit of an increasingly objective evaluation of the problem, reducing the uncertainty connected with theoretical assumptions.

Obviously, in the example discussed above, man can receive only external irradiation from the storage or discharge zone.

The risks associated with underground waters, surface waters, and the soil, if the latter is close to the surface, may be due to both external and internal irradiation. This internal irradiation, in the case of water, is connected with the actual or potential use of this water for drinking and/or irrigation purposes. In the case of soil, this internal irradiation is connected with the actual or potential consumption of vegetables cultivated or harvested thereon.

In such a case, one or more other models will enable us to study the successive distribution of the radionuclides in the corresponding subsequent systems. One will have, finally, a knowledge of the concentration of radioactivity existing in the various compartments of the ecological environment associated with a discharge or storage zone, for given quantity of radioactive substance stored or discharged.

This knowledge will enable us to single out from all the population groups in some way connected (either actually or only potentially) with the environment, those more highly exposed to the risk of irradiation damage from a given radionuclide (critical group or groups). Once the critical group has been identified for a given radionuclide, one can then proceed to calculate the maximum quantity of this radionuclide which can be introduced at each given period of time, into the storage or discharge zone without the critical group receiving a dose higher than the limiting dose indicated in the Basic Norms.

This quantity could be called, by analogy with what is done for discharge in bodies of water, the limiting discharge of that radionuclide for that zone.

Repeating the procedure for all the other radionuclides associated with the wastes, it would be possible to obtain an estimation of the "total capacity of the site" with respect to the radioactivity which the site can receive.

Lack of time prevents me from enlarging on all the many aspects of this question. I believe, however, that the few points discussed above may be a breakthrough which, although subject to criticism, may also lead to a constructive discussion.

## APPENDIX

A few simple examples will be given below showing the way in which the proposed method can be applied.

### *Case I:*

Ideal limiting case in which the zone chosen for storage or discharge is completely impermeable (salt mine). The system is reduced to compartment 1 only. In this case, if one introduces systematically each year, for example, the same quantity  $R$  of a radionuclide having a half-life  $T$ , the total quantity stored or discharged increases tending asymptotically to a constant value which is reached after a time approximately equal to  $4 T$ .

The maximum value is given by:

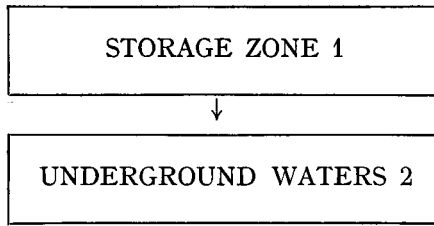
$$\frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \text{ per } t \cong 4 T$$

The limiting factor will then be the resultant exposure intensity at points accessible to man.

### *Case II:*

Let us consider the case in which the wastes are leached by underground waters and that these underground waters circulate without interaction phenomena between the radionuclides and the soils traversed; let us also assume that the exit phenomena to the ground surface occur only to that extent or under such conditions as to be negligible.

The model is then simplified as follows:



in which:  $v$  the velocity of the water;

$V$  the apparent volume of the load of waste;

$R_o$  the initial radioactivity of the waste;

$l$  the dimension of the load of the waste in the direction of the water flow;

$t^* = \frac{l}{v}$  the time taken for the water to “traverse” the load of waste.

The concentration of radioactivity in a volume of water  $V$  equal to the apparent volume of the waste, the volume of displaced water will be given by:

$$C = \frac{R_o K_{12} e^{-K_{12} t^*} e^{-\lambda t^*}}{v}$$

where  $t$  is the time elapsing from the moment of the creation of the storage and  $K_{12}$  and the transfer coefficient (expressed in units of time<sup>-1</sup>).

(It will be possible to obtain the value of  $K_{12}$  from the rate of leaching of the waste. If this waste is, for example, incorporated in an inert matrix (glass, cement or bitumen) and the leaching rate is expressed in g/cm<sup>2</sup> day, the value of  $K_{12}$  may be obtained by multiplying the leaching time by the area of the leached surface and dividing it by the mass of the waste.)

Since the volume of water moves downstream a distance  $X$ , which is reached after a time  $\tau = \frac{x}{v}$ , the concentration will be:

$$C = \frac{R_o K_{12} e^{-K_{12} t^*} e^{-\lambda(t^* + \tau)}}{V(x)}$$

the volume of water in question having possibly varied (through obvious diffusion phenomena).

If, at this point, the water is piped for use, the condition to be observed is that in this case the concentration is  $\leq$  MPC for drinking water.

## *Discussion*

Mr BRANCA replied as follows to a question by the Chairman on leakages of radionuclides and on forecast models:

“The problems of health protection arise to the extent that the storage area is not completely impermeable and mechanically stable for time-spans comparable with the half-lives of the nuclides concerned (one need only think of plutonium!). Furthermore, the intrinsic guarantee, i.e. that afforded by the packaging of the waste, is never total. Even glass, which is the best that modern technology can give us as regards packaging, is by no means insoluble and has an elution rate which, although small, is not zero. It is therefore necessary to estimate whether the leakage of radionuclides, major or minor as the case may be, is compatible with the receptivity of the environment. It is also necessary to consider another aspect, that of time. The information we possess as to the life and resistance of materials is obviously limited to the duration of observations. We still know too little about the behaviour of many materials under actual conditions for times of the order of centuries or even only of decades.

To conclude, I would say that the final elimination of solid waste is a problem in many respects similar to that of liquid waste; the principal difference is connected with the time factor.”

Mr BARBREAU: “In my opinion it is necessary to distinguish between confinement at the level of the waste itself (packaging) and at the level of the site (value of the transfer coefficients). Clearly, if the waste is so packaged that no transfer phenomena can take place, there will not be any health problem. On the other hand, the travel of radioactivity may be such as not to present any major problems if it cannot reach a point of consumption such as an outlet from the water table (a spring or river) or wells or borings fed from it. The health problem arises because firstly the packaging of the waste and secondly the transfer factors are such that some activity is liable to reach a point of consumption or at least come into contact with the living environment. The essential point, with a problem of storage on or in the ground, is to determine precisely the value of the confinement and transfer parameters, in order to establish whether there is a risk of contamination of the living environment or of usable water resources, and possibly, the value and extent of this risk. In general, it is possible, at least in most cases, by means of geochemical and hydro-geological studies to make a fairly accurate estimate of the value of the confinement and transfer coefficient. It is certainly more difficult to make a quantitative assessment of the amount of radioactivity liable to

emerge and come into contact with the living environment, and in this connection, I should be interested to have some details about Mr Branca's figure of 640 curies of cobalt."

Mr BRANCA: "The calculation, which was published in an Italian journal, takes the path by which the population of the surrounding area might in any way be affected by the buried activity to be the migration of this activity resulting from elution by rain water or the ground water, which, owing to the elevation of the water-bearing stratum, affects the level of the trenches. Since the power station and the trench we are talking about are near the River Garigliano, the following assumptions, all of which are extremely conservative, were made:

- 1) All the buried activity is eluted and transported to the river by the ground water in a period of three months.
- 2) The river flow is the minimum recorded, and remains so throughout the three-month period in question.
- 3) The activity associated with the waste is due entirely to the most dangerous isotope present in the mixture. (Although Co<sup>58</sup> predominates, the calculation was based on Co<sup>60</sup>, whose MPC is three times smaller.)
- 4) The buried activity, with the assumed transfer from the trench to the river, is neither reduced by decay nor the filtration effect and the ion exchange in the ground.
- 5) The river water is used as a drinking water source.

The maximum activity that can be buried according to these theories may be inferred from the simple equation:

$$X = Qt \text{ (MAC)}$$

in which:

$Q$  is the minimum flow rate of the river,

$t$  is the number of seconds in a quarter."

Mr BARBREAU: "The calculation method used to make this assessment was conservative to say the least. Finally, it no longer corresponded to the storage concept, for you are considering disposal into the river, staggered in time, across the ground. Practically speaking, this is no longer a storage problem but one of nuclear waste disposal, and in that case we can make a quantitative assessment, since you will take into consideration the rate of flow of the river. A second conservative value is the quantity of water from this river used for feeding—the MAC can therefore be taken into consideration."

Mr BRANCA: "I agree with you, Mr Barbreau: the receptivity was estimated in this case not by an actual calculation using the real values of the coefficients concerned, but on the basis of certain assumptions which were not very realistic but erred very much on the side of caution.

Clearly, in view of the great variety of phenomena involved in the receiving environment, and governing the travel of the radionuclides associated with the waste, the problem of precise quantification of the distribution of these radionuclides in the environment cannot be divorced from a high degree of complication. Between these two extremes, i.e. the strict method based on analysis of all phenomena influencing the movement of the radioactive substances in the individual components of the environment, and the empirical method, of which an example is given, there is of course a wide range of intermediate possibilities, which yield solutions whose closeness to reality depends on the degree of detail with which the characteristics of the environment and the processes at work therein are known."

Mr MECHALI: "Mr Branca's example has an interesting aspect: in some cases, it may not be necessary to perform all the calculations described. It is sufficient to make sure that even on extremely pessimistic assumptions, the consequences are wholly acceptable. In such circumstances, the solving of the problem may be simplified. In the example mentioned by Mr Branca, the storage requirements are for 10 curies of cobalt, whilst on extremely pessimistic assumptions, the permissible amount would be 640 curies. It is therefore certain that with this method, the material can be stored without any anxiety."

Mr SCHEIDHAUER then raised the problem of what happened to the graphite waste from EDF reactors. "This waste consists basically of cans, and the contaminating elements, which constitute an integral part of the graphite in the form of impurities, include cobalt 60 and manganese 54. After joint laboratory tests, we carried out an experiment under actual conditions, with one ton of graphite, representing one m<sup>3</sup> of volume and a cobalt activity of one curie per ton. We buried this graphite in the ground and found that it behaved absolutely like a sponge.

The site consisted of a schistose embankment. The water at the storage level and in the water table was monitored by means of a number of tubes. We thought we had good retention, but we found there was extremely fast transfer at the burial level (a depth of 3-4 metres). There seemed to be preferential retentions: manganese 54 travelled faster than cobalt 60; at this point, after 14 months, we interrupted the experiment.

In this particular case, the experimental results disagreed with our optimistic predictions for relatively shallow burial. This was certainly not the best case; in general, in the case of burial at this depth, the ground is already disrupted and it is therefore difficult to make forecasts."

In reply to a question by Mr Smeets (CEC), Mr SCHEIDHAUER gave some details of the behaviour of graphite.

"In practice, it was as if continuous lixiviation was taking place without any variation over the period of the experiment. The radioelements were present in traces because of the total activation of the graphite and not contamination. The activity was something like  $1 \mu\text{Ci}/\text{gram}$  for cobalt 60, plus the activity of other radioelements. Retention by the ground was low. The activity of the ground per unit volume was the same as that of the water."

Mr BOVARD added the following remarks: "This was a special case: the cobalt fixed on the graphite was not fixed by ion exchange or absorption phenomena. It was present statically as a result of activation, and so there is perhaps no stable physico-chemical connection between the graphite and the cobalt."

Mr VAN DE VOORDE: "Mr Branca, you expressed the unit of lixiviation in  $\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$  and used the expression  $E : C - \lambda t$  which in my opinion applies only to the active material."

Mr BRANCA: "The expression of the rate of lixiviation in  $\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$  is conventional. In actual fact, we are not concerned with grams of material which have actually gone into solution but with a theoretical quantity associated with the lixiviated radioactivity. As you know, measurements of lixiviability are made by immersing the specimens in water, measuring the concentration of the radioactivity transferred to the water, and allowing for the weight of the specimens and the surface area exposed. Of course, all this applies in cases where—as I said in the second example in my paper—the radioactive material is homogeneously distributed in an inert matrix. The IAEA has set up a working party specifically for the purpose of standardizing measurements of this type.

As for the second part of your question, Mr Van de Voorde, it is known from the theory of compartments that, if we take  $Q_0$  to be the quantity of a given substance contained initially in a particular compartment, if this substance leaves the compartment at a speed  $KQ$ , where  $K$  is the fraction of the quantity  $Q$  of substance eliminated per unit time (termed the elimination or renewal constant of the compartment), and if new supplies



do not accrue to the compartment from outside, the variation of the quantity of substance in time is expressed by the equation:

$$\frac{dQ}{dt} = -KQ$$

so that the substance leaves the compartment under similar kinetic conditions as the ones governing diffusion processes; therefore:

$$Q = Q_0 e^{-Kt}$$

Mr KAYSER: "Mr Chairman, I should like to ask a very basic question from the health point of view. Hitherto, discharges or radioactive effluents have been composed solely of low-level liquid solutions, of activity below the MPC. They were discharged into a river around the nuclear installations. Concentrated solid or liquid waste was stored in case of contamination of the ground. Is there a general tendency towards storage of concentrated radioelements, above the MPC, in the ground, apart from special cases, such as the salt mine, where no diffusion of radioelements is assumed?"

Mr SCHEIDHAUER: "In La Hague we have carried out experiments with burial in trenches in the ground for low-level suspect waste without packaging. Medium-level waste enclosed in drums has also been buried in trenches in the ground. These tests constitute only a limited experiment."

Mr BARBREAU: "There is indeed a tendency to prefer the burial of low-level solid waste; this is an economical solution. The essential problem, from the point of view of radiological safety and confinement of the waste is looked after by the characteristics of the site themselves. There is no reason not to store waste on the surface or in the ground. This is leaving aside other techniques, providing absolute degrees of confinement, such as storage in salt or deep injection.

I therefore see no intrinsic reason for ruling out the possibility of storing radioactive waste in trenches or even in contact with the water table, if the radioactivity, taking account of the transfer characteristics and parameters (flow of underground water and ion exchange phenomena), has no chance of coming into contact with the living environment."

Mr MECHALI: "Mr Kayser has presented the problem of the discharge of low-level liquid effluents in watercourses and into the ground from a philosophical viewpoint, but it should be regarded from the practical angle, that of protection of the public and of the population. Looked

at in this way, one should not differentiate between the water of a watercourse contaminated by a direct discharge of liquid radioactive effluents and water contaminated by percolation through contaminated ground, if these waters are put to identical uses. The final result is the same, and I do not see why one of these processes of the dispersal of radioactive substances in nature should be acceptable and another not, provided that the effect on the public is contained within acceptable limits. I am thinking of a comparison between the discharge of low-level liquid waste into watercourses and the burial of waste in the ground with imperfect confinement.

When waste is buried in the ground with imperfect confinement, eventually dispersal of part of the radioelement takes place, resulting first in contamination of the ground water and then of the surface water, which may be used for irrigation, agriculture, etc. The final result is the same whether the water is contaminated by direct discharge or by percolation through the ground.

The only problem is the health problem, i.e. whether this contamination reaches man and whether it then remains within acceptable limits."

Mr BARBREAU added: "It might be possible to some extent to overcome this drawback by the method of storage in or on the ground. One is biased in favour of storage on or in the ground as compared with direct discharge, provided that the various factors of transfer, speed, flow of ground water, distance of outlets from the point of contamination, retention of radioactivity and decay time allow the external contamination to be contained below the MPCs."

Mr CANTILLON: "Mr Mechali is right, but I nevertheless agree with Mr Kaiser that continuous discharges into watercourses should have as low an activity as possible, and that there should be arrangements for immediate control so as to organize discharges in accordance with the flow of the river. Mr Kaiser's fears are justified, but the possibilities of control are different in the two cases.

In the case of discharge into a watercourse, it is possible to act quickly, e.g. by closing valves, whereas with storage on a site where thousands of drums are stacked, it is necessary, in the event of a rapid increase in the amount of activity released, to inject, for instance, chemical barriers into the ground.

Liquids can be handled more easily than solids, and there are more possibilities of action before man is reached. This, I think, is the reason for this difference."

Mr MECHALI: "Mr Chairman, Mr Cantillon's point seems to me to be valid; I believe that great care and caution must be exercised with all these studies. I merely wished to answer Mr Kayser at the level of principle. I wish to object to the phrase which is often used: "provided that the MPC is not exceeded", as this is a simplified criterion of level and not a fundamental criterion of the dose received."

Mr KAYSER: "Mr Chairman, let me elucidate: at every nuclear power station a large volume of low-level water is produced, which for economic reasons cannot be concentrated. For medium-level waste, because of the small quantities involved, storage is preferred to disposal in the ground, because from the point of view of radiological protection, it is necessary to take account of what is economically reasonable. If this solid or semi-concentrated waste is disposed of in the ground, it is difficult to assert that the dose will remain below the permissible level if, for example, this activity cannot be contained."

Mr KRAUSE: "In assessing the relative importance of economy and safety, it is necessary to vary the approach adopted in terms of the radioactivity level. With relatively high levels of radioactivity, where there is a real health hazard, there is no doubt that financial considerations are of no account. In this case, it is necessary to do simply what is required, and it is only admissible to select the cheaper of two processes as long as it entirely fulfils the safety requirements. Then there is a second level, at which safety is affected, but not quite so rigorously. In this case, the economic aspects should certainly be examined. Should it be possible to prevent the dispersion of activity at an acceptable cost level, then it should be done. In the Federal Republic, the procedure we adopt is to restrict any discharge to as low a level as is technically and economically possible, even if this means we are below the levels imposed by the corresponding standards. Of course, there are occasionally differences with the industry, but when we tell those concerned how the problem would otherwise have to be solved and the cost involved, the difference is usually settled speedily.

Finally, there is a third level, which is so low that it is not even worth discussing whether discharge is avoidable, because, below a certain level, activity ceases to be of any interest."

\* \* \*



## **IV— ESTABLISHMENT OF A STORAGE SITE**

*Chairman:*

J. Smeets (CEC, Luxemburg)



## 1—SITING OF STORAGE FACILITIES FOR RADIOACTIVE WASTE

G. Grison (CEC)

The Euratom Commission, in launching its second five-year plan for the disposal of radioactive wastes, based it on the principle of a permanent deposit of waste in solid form.

The relevance of this choice was confirmed some years later during a symposium organized in Richland in February 1966 on the problems raised by the treatment of high activity waste. From this symposium, it was possible to conclude that disposal in liquid form was not a reasonable long-term solution and that the progress made—and foreseen—in insolubilisation techniques would make it possible to ensure disposal answering inspection and control requirements for several centuries to come.

Another confirmation came during the symposium on the evacuation of radioactive wastes in the ground, organized by the IAEA in Vienna in May-June 1967. Some papers dealt with studies undertaken in various countries for the location of disposal sites. These studies had a common objective, the disposal of wastes in solid form. Sites were selected in accordance with a certain number of criteria. Even though all the following parameters were not retained in the various studies, one can mention the following: population, geology, pedology, meteorology, hydrogeology, seismology, geography, infrastructure.

The problem of choice of disposal sites in the Community has been considered by the Commission as well. A study contract was concluded to this end in the beginning of 1965 which permitted the working out of a method offering great flexibility. The basic principle is the following: a map must be provided showing the entire European Community, light-coloured zones would indicate those zones offering the maximum of theoretical guarantees, and darker zones those which, theoretically, should exclude all possibility of the installation of a disposal site.

To attain this objective, the following method was adopted:

- (i) each parameter shown on a coloured translucent map,
- (ii) a set of colours is allocated to each parameter, the lightest shades showing up the favourable zones, while the darkest shades correspond to the less favourable zones,
- (iii) a basic map of place names, also showing the ramifications of the watercourses, serves as a reference common to all maps,
- (iv) the maps drawn are to the scale 1/1 000 000,
- (v) the atlas consists of eight coloured maps corresponding to the principal parameters, three maps assemble certain secondary data and the toponymic and hydrographic background.

## **Review of the parameters**

### **a) Geography**

This parameter is not a prime criterion, but it should be taken into consideration due to its interference with the other parameters, since the geographic and morphologic conditions may prohibit the location of a site in certain zones. On the other hand, it complements the place-name map.

The map was compiled by means of contour lines constituting the following classes:

from 0 to 200 m,  
from 200 to 500 m,  
from 500 to 1 000 m,  
from 1 000 to 2 000 m,  
above 2 000 m.

### **b) Population**

This parameter is of prime importance: to the cost of the biological protection which depends on the population density are added the psychological difficulties involved in the disposal and transfer of radioactive products.



The map was drawn so as to show the following classes:

- from 0 to 20 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- from 20 to 40 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- from 40 to 60 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- from 60 to 80 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- from 80 to 200 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- from 200 to 500 inhabitants per km<sup>2</sup>,
- more than 500 inhabitants per km<sup>2</sup>.

Particular attention was paid to the low population densities, justifying the division in classes as described above.

The surface reference adopted averages 150 km<sup>2</sup> for the Benelux area, 800 km<sup>2</sup> for France and 500 km<sup>2</sup> for the Federal German Republic. In order to preserve a certain uniformity, the territorial units of Italy are statistical sectors of which the average surface corresponds to the French references.

The data shown are those derived from the national censuses from 1960 to 1963.

### **c) Meteorology**

For the choice and the conservation of a site, this parameter assumes a double aspect, depending on whether one considers:

- (i) the action of the climate on the soil characteristics and the packaging of the products;
- (ii) the risks of an accidental dispersion of a major or minor amount of radio-elements contained in the waste, whether in the atmosphere or running and infiltration waters.

Hence a knowledge of the meteorological data of a region enable us to specify:

- (i) local forms of activity of water,
- (ii) atmospheric agents conveying pollution,
- (iii) dangers of erosion, having regard to the protection of the site,
- (iv) possible difficulties of utilizing the site.

For this study, two series of particularly important climatological data were used. The first come under the general principle of the map series and relate to pluviometry.

The pluviometric classes, represented by the isohyets are the following:

- from 0 to 500 mm per annum,
- from 500 to 800 mm per annum,
- from 800 to 1 000 mm per annum,
- from 1 000 to 1 500 mm per annum,
- from 1 500 to 2 000 mm per annum.

Some supplementary isohyets, representing sub-classes, were shown without distinguishing colours. The number of days of rainfall per annum, where the precipitation was greater or equal to 0.1 mm, was given for 381 stations.

The second series of data was given in another map to be used for consultation purposes only. It assembles the following data for 160 stations:

- absolute maximal temperature,
- absolute minimal temperature,
- number of days of frost per annum,
- number of days of snow per annum.

#### **d) Geology**

The interest of this parameter does not reside in the chronological scale of the terrains, but in the lithological characteristics of the various geological formations. They condition in effect:

- the "general and crystalline-scale permeability",
- the adsorption and retention capacities,
- the long-term mechanical resistance,
- the resistance to chemical alteration, considered also on a scale of several centuries.

It was not possible to show all lithological categories on the 1/1 000 000 scale. A simplification was necessary. Five groups of petrographic varieties were defined in relation to the characteristic qualities of each group, from the point of view of permeability, capacity of adsorption and resistance. The five basic groups are:

1. marls and clays,
2. igneous and metamorphic rocks,
3. sandstones, schists, calc schists and flysch,
4. carbonaceous rocks (limestones, dolomites),
5. alluviums and old and new sands; volcanic tuffs.

In certain regions the repeated alternation of outcrops of reduced surface led to the use of intermediary terms regrouping the five above-mentioned groups in pairs.

The “marls and clays” group, for example, is justified by the good qualities of impermeability and adsorption capacity of these terrains. On the other hand, sands, alluviums and tuffs are, in general, unfavourable from these points of view. The general permeability which often characterises the masses of carbonated rocks represents an unfavourable element for these terrains, while their mechanical resistance is, in general, an assessable quality.

The map mentions besides the major tectonic data such as flexions, transverse faults, limits of the over-thrusts, principal faults, anticlinal and synclinal zones of active volcanism. The saline beds are indicated also, the reference level being 500 metres below the surface.

### e) Pedology

This parameter becomes highly important in the case of surface waste deposits. It is, in effect, the surface layer of the soil which will be likely or not, to slow down to a very variable extent the radioactive infiltrations which might contaminate the food chain.

As in the case of other parameters, it was necessary to regroup in a simplified and synthetic form, the West European soil categories in relation to their permeability and especially their adsorption capacity. The following classification has been adopted:

Permeability	Adsorption	Type of soil
Low	High Average Low	Argillaceous soils Pseudogleys Bare non-calcareous rocks
Average	High Average Low	Chernozoms Leached soils and leached brown soils Sandstone outcrops, podzolic brown soils
High	High Average Low	Andosols Brown acid soils Podzols Alluvial soils Sandy soils Soils on limestones or dolomitic rocks Peaty or parapeaty soils

Moreover, Hydromorphic zones with permanent or temporary water tables were also shown.

#### **f) Hydrogeology**

This parameter is closely linked to the biological protection of the population, fauna and flora. The potential resources of the water tables are a capital element which must be taken into consideration when a disposal site is sought; an isolated table not drawn on at the moment may be definitely lost for future human needs if a disposal site is likely to pollute it. On the scale adopted, it was not possible to take into consideration a great number of classes answering to all criteria, i.e., abundance of water, depth, velocity gradients, type of storage rock, degree of use, etc. Four groups were retained, viz:

1. Poor water tables: often near the surface or in impermeable terrains (marls, clays, argillaceous molasses, schists);
2. local discontinuous tables of heterogeneous geological formation;
3. extensive tables in porous terrains (alluviums, sands, conglomerates);
4. water tables of the carbonated series of the karstic type (limestone, chalks, dolomites).

Whenever possible, the map distinguishes between free tables and captive tables.

Compared to the other maps made within the framework of the general study, this map shows the very close correlations which exist between hydrogeology and the petrographic and structural characteristics of the countries. The distribution of water resources and of population groupings are absolutely independent on the other hand, the large urban regions are often forced to draw upon very distant water resources. The link with meteorological factors is also very close. Finally, the development of hydraulic resources sometimes leads to rapid changes in the regional economy.

#### **g) Seismology**

The seismic conditions prevailing in a disposal zone obviously affect the behaviour of the installations and the risk of dispersion of the deposited elements. It is therefore necessary to take into account the degree of probability and range of the earthquakes.

In this study, the epicentres and the frequency of the earthquakes were not shown. Only the seismic zones were mapped, starting with degree 5 of the Mercalli scale.

The classes considered for the compilation of the map with “isoseismal” curves include the following sections:

- degree 5,
- degree 6,
- degree 7,
- degree 8,
- degree 9,
- degree 10 and above.

## **h) Economy**

The meaning attributed to this parameter in the present study is somewhat restrictive, since it covers only the present economic use of the territory. It would, however, be very difficult, if not impossible, to take into account a hypothetical evolution, the prospects of which are themselves undetermined in time. Moreover, certain indications show that the rich zones will grow richest, while the poor zones will (from every point of view, agriculture, industry, population) remain poor for the longest time. Although one should be cautious regarding the intrinsic significance of this map, it has, nevertheless, an undeniable value when used with the other parameters. The cartographic representation is based on the following groups of activity:

- predominantly industrial zones,
- zones with a preponderant tertiary activity,
- agricultural zones of considerable productivity,
- agricultural zones of little importance.

Under non-agricultural activities, those with an industrial character were separated from those with a tertiary character. The fundamental reason for this distinction is their varying importance in the localisation of the economic centres and the extent of their development.

The basic criteria used for determining the economic importance of a region was the labour force. Apparently it might seem that this criteria is very close to the population density. In fact, the daily movement of the labour force sometimes causes a substantial change in the map physiognomy.

A second map whose aim is solely consultative, assembles a number of data which can be used for a primary selection between regions with favourable characteristics. These data include in particular: reserved areas (military areas, national parks, natural reserves), dams, harbours (by category), motorway network, power networks, canals (by category), etc.

## CONCLUSIONS

The aim of this study is to produce, by superposition of the maps, a whole of varied coloration. This whole represents the integration of the parameters chosen, either in pairs, or threes, etc., while it is not, *a priori*, impossible to consider the search for a zone as a function of certain particular criteria, it seems, however, rational to carry out the superpositions as a function of the relative value of the parameters. These values are fixed by the hazards inherent on the presence of the disposal site. The main hazard is the contamination of the population and food chain. From this point of view, the population, lithology and hydrogeology parameters are the first to be taken into consideration. A secondary category could contain the pluviometry, seismology, and pedology parameters. The variation of the first two is small in most of Europe, while the third has an influence limited to the upper layer of the soil. Finally, of tertiary importance remain the hypsometry and economy parameters, the roles of which are obviously secondary; the altitude or the presence of an industrial zone present no absolute obstacles to the installation of a disposal site.

To sum up, the maps permit a pre-selection of zones in the European Community theoretically suitable for the location of a radioactive waste disposal site. The application of an identical methodology for a more thorough examination of the pre-selected regions, is not to be excluded. Such a study would enable us to limit, geographically and financially, long and costly studies.

It might also be possible to apply the method to other problems in the nuclear and non-nuclear industries. The choice, i.e., the cartographic translation, the scale and the importance of the parameters depend on the problem considered.

The conclusion would be incomplete if it did not recognize that this collection of parametrical maps could be improved. But in this study it was always necessary to make a choice. In most cases, it has hardly

been possible to go beyond a given accuracy of detail, as otherwise the presentation would have been impossible and to a certain extent illusory. The simplification of very complex legends at the beginning permits a synthetic view, so that some of the maps are original creations of a cartographic collection summing up the principal characteristics of a parameter covering the European Community.

## 2—ESTABLISHMENT OF A RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE

H. Krause (Federal Republic of Germany)

The following points in particular must be considered when establishing a store for radioactive waste above or below ground (dumping in the sea will not be discussed here).

### a) Activity of the waste

*Highly active waste* (several thousand Ci/l) not only emits heavy radiation, but also produces considerable heat of decomposition. The heavy radiation calls for special equipment to ensure safe handling of the waste. The direct effect of radiation on the storage medium is limited to small areas, but even here it does not cause serious damage or reaction and is therefore of minor importance. More serious problems are posed by removal of the heat of decomposition, because the thermal conductivity of soil and rock is normally very low. Adequate removal of the heat of decomposition still presents a problem even if the waste is stored in salt, which has a thermal conductivity three times higher than the mean value for all rock. For example, at the Asse salt mine the highly active glass cylinders must be stored in individual boreholes, which are spaced at intervals of 10 metres to keep the temperatures below about 300° when the waste and salt come into contact (about 20% oxides of fission products in the glass; age 2 years; cylinder diameter 20 cm). The problems of heat removal in the final storage of highly active waste will become still more serious when the achievable burn-up of the fuel elements is increased and less, but more concentrated waste is obtained with the introduction of new nuclear fuels and reprocessing methods.

*Moderately active waste* also requires shielding during handling. As no substantial quantities of heat are liberated, however, large quantities of waste can be piled on top of each other. There are no grounds for

fearing that the radiation will directly affect the environment. However, it must be ensured that persons approaching the store are not exposed to increased radiation.

*Weakly active waste* does not cause problems from the heat or radiation points of view in final storage.

## **b) Nature of the waste**

The nature of radioactive waste plays an important part in its final storage. In most cases the waste must be solid. The more difficult it is to leach out the radionuclides contained in the waste, the less stringent the requirements that must be imposed on insulation of the store against the biocycle, especially ground water. Conversely, the solubility of the waste is unimportant in the case of absolute insulation of the store against the biocycle.

In considering the safety aspects of a storage place it must also be taken into account whether the waste is combustible, self-igniting, explosive, or fermentable and putrescible. The consequences of liberation of gaseous radionuclides (e.g.  $^3\text{H}$ , Rn) must also be borne in mind. For example, it may be necessary in a mine to limit the quantity of such waste or to ensure adequate ventilation.

## **c) Transport**

A final storage place for radioactive waste must also take account of the transport aspects. For safety reasons it is desirable for access routes to avoid densely populated areas. A rail connection would be preferable, but good road conditions are a minimum requirement. To save transport costs the store should be sited as centrally as possible among the chief waste producers.

## **d) Health policy requirements**

An essential requirement of a store for radioactive waste is that it must not allow large quantities of radionuclides to enter the biocycle over the long periods until the activity decays. In this respect extensive surveys of the geological and hydrological conditions are necessary. In evaluating the results it must be borne in mind that despite careful investigations inhomogeneities in the subsoil, fissures, etc. may be overlooked or faults may occur later with the result that it is not easy to ensure absolute preclusion of the waste from the biocycle.



It must also be taken into account that the demand for drinking water and various minerals is continually rising. A long-term view should therefore be taken when selecting a storage place for radioactive waste in order to prevent damage to valuable resources, even if they do not appear important at present.

#### **e) Psychological questions**

Despite excellent safety arrangements the establishment of a store for radioactive waste has repeatedly been frustrated by the resistance of the general public. Full clarification of what is involved in good time is therefore absolutely essential. However, it has been confirmed in practice that public resistance is always at its lowest when the establishment of such a store is accompanied by the creation of new jobs or the maintenance of existing ones. Consideration should also be given to this aspect.

#### **f) Capacity of a store**

The future yield of radioactive waste concentrates can be estimated on the basis of forecasts of future trends in nuclear engineering, the known yield in different nuclear plants and the volume reduction factors of the different methods of waste treatment. Given a knowledge of storage techniques the space requirement can be calculated from the yields, whereby filling factors, transport routes, etc. should be taken into account. The space required for the storage of highly active waste is a multiple of the volume of waste, because large spaces must be left between the different waste containers in order to remove the heat of decomposition.

### **3—CONSEQUENCES FOR HEALTH OF THE STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE IN THE GROUND AND ASSESSMENT OF THE STORAGE CAPACITY OF A SITE**

D. Mechali (France)

Independent of the type of disposal of radioactive waste, on the surface or in the ground, whether it concerns liquids contained in buried reservoirs or solids with more or less sophisticated conditioning, the public health hazard is associated with the possible contamination of underground waters and their utilisation.

The ways by which man can be affected by contaminated underground waters will be examined briefly, and the admissible exposure limits for the public will be mentioned. I will then consider the method of determining the disposal capacity of a site.

#### **a) Ways by which man can be affected by the contamination of waters**

The waters of non-captive underground tables reappear on the surface, either through springs or by infiltrating directly into the watercourses and by major or minor dilution. These waters can also be used directly through wells, pumping, etc.

The numerous, sometimes complex, routes by which man may be affected will depend on the use of these waters.

An external irradiation of the organism by  $\beta$  radiation can be caused by bathing in contaminated water or by staying near land on which radioelements have accumulated (sediments deposited on the banks of watercourses, products of cleaning out irrigation canals deposited on the banks, etc.). External irradiation may also result from the use of contaminated fishing gear or sports equipment.

But generally the greatest hazard is internal contamination, essentially by ingestion. The use of water as drinking water (beverage, washing and cooking) is the pathway one usually thinks of, but it is not the only one and does not always exist. The agricultural use of water also brings about some very wellknown risks:

- (i) contamination of vegetable food products via the roots in the case of irrigation by furrows and equally by way of foliage in the case of spray irrigation;
- (ii) contamination of animal products originating from animals fed with the produce from irrigated zone or drinking contaminated water.

When the watercourses are used for fishing and, in particular, for commercial fishing, the consumption of fish or shellfish which concentrate the radioelements present in the water also constitute a source of internal contamination.

Many other secondary paths could be mentioned by which man can be affected, viz., inhalation of water droplets, contaminated during spray irrigation or aquatic sports, inhalation of fine dusts from contaminated sediments... external irradiation in water treatment plants...

The relative importance of these different ways by which man can be affected will vary in each case, depending on the uses made of the contaminated waters.

But whatever the path by which man is affected in a given case, it will be necessary to evaluate the consequences for human health of the contamination of waters and hence of the deposit in the ground of radioactive wastes.

## **b) Admissible limits of exposure of the public**

All individuals who are likely to be at the end point of the various transfer paths of the radionuclides will not undergo the same degree of exposure. In fact, many factors relating to the way of life, eating habits, age, professional activities... condition the contamination of the organism by radioactive substances.

It will be, however, always possible to distinguish in the population likely to be exposed homogeneous population groups according to the age and the different aspects which condition the exposure (geographical situation, diet and origin of the products consumed, professional activities, leisure activities...).

The individuals composing each of these groups will be subjected to a similar, but not identical, exposure (the food composition and quantity will not be exactly the same for each individual, for example: the individual variations of metabolism will also produce differences between the doses received by different individuals). One can only determine, therefore, the dose received by the average individual of a group (average according to the characteristics which determine the dose). It is the irradiation of this average individual which will be considered as representative of the exposure of the population group studied, the scatter of doses actually received by the individuals around this average dose depending on the care with which the population group has been delimited.

The different population groups, thus defined, which can be exposed because of water contamination, will be exposed in a very uneven way, and it will usually be possible to identify one or two population groups which, because of their characteristics, will be considerably more exposed than all the rest of the population outside the site. It is from one of these groups, usually called "critical groups", that one will assess the health consequences of the deposit of radioactive waste disposal in the ground.

The consequences of exposure on the health of man will be judged by reference to the dose limits which correspond to acceptable risks and are stipulated in the national regulations (on the basis of directives from Euratom and from recommendations from ICRP):

Whole body, hematopoietic organs, gonads . . . . .	0.5 rem/year
Skin, bones . . . . .	3 rem/year
Other organs (thyroid, GIT, liver) . . . . .	1.5 rem/year

These limits apply to the total irradiation of the organs, viz., the sum of external and internal irradiation resulting from the contamination. Concerning internal irradiation, these limits apply to the dose commitment resulting from the annual contamination, i.e., to the total dose which will be delivered in the course of time through the annual incorporation of radioactive substances. It is shown that, in the case of incorporation at a constant level, the dose rate, viz., the annual dose actually received will reach, after a greater or lesser time, equilibrium value equal to the annual dose commitment.

Finally, when the exposed population is very large (this would seem to be extremely improbable in the case envisaged), it will be necessary to make sure also that the contribution given by the operations to the genetic dose for the overall population remains at an acceptable level.

**c) Evaluation of the disposal capacity of a site**

When considering creating a disposal site, it is therefore necessary to make an evaluation of doses which could be received by the critical population group or groups because of this disposal, and to determine the limits of activities which it will be possible to deposit without reaching the dose limits fixed by regulations or by the public authorities.

This problem arises whenever one considers a dispersion of radioactive substances in the environment. But, while it is sometimes fairly easy to solve, as for example in the case of disposal into the atmosphere of rare gases or of short-life radioelements, it is often very complex; this is the case of disposal in the ground in particular.

The different studies necessary in order to answer the question raised can be grouped in four categories:

- (i) Studies on the liberation in the ground of radioactive substances, depending on the characteristics of the packaging material and the storage conditions. They should make it possible to estimate, or at

least to make a shrewd guess of the fraction of activities deposited, which will be liberated into the ground per unit of time.

- (ii) Studies on the movement of radioelements in the ground and in waters. These include geological and hydrological studies specifying the nature of the subsoil, the exact location of the water tables and their movement, and physico-chemical studies on the behaviour of the radioelements in the ground (sorption and desorption). They will make it possible to evaluate the evolution of the contamination in time of the underground water tables and the surface waters which they feed.
- (iii) Studies on the use of water (underground water tables or surface waters). They will make it possible to inventorise the possible ways in which the radionuclides may affect man. They will be completed by the determination of the transfer parameters which, for each transfer path, make it possible to pass from the initial link, the contamination of waters, to the final link in the chain, the food consumed in the case of irrigation for example.
- (iv) Studies of the characteristics of the population groups which may be exposed: way of life, diet, and origin of the foods, age distribution, profession and leisure activities. Such studies will help to define the population group or groups for which a quantitative evaluation will be made of the exposure. It must not be forgotten, in this connection, that the critical group may be situated far from the disposal site.

All these data will permit of the evaluation of doses which could be received in a more or less distant future by the critical population group or groups depending on the deposited activities. It is certain that it will be often difficult, and sometimes impossible, to gather all the quantitative data necessary for this evaluation, and that the values of the parameters which enter into the evaluation will often have a certain margin of uncertainty. It is the rule, in this case, to take conservative values for the little known or unknown parameters.

All these studies will also have brought to light the predominant path or paths of contamination, or the critical contamination path, and the radioelement or elements which contribute mostly to the dose, i.e., the critical radioelements. These data will be particularly useful for defining the surveillance programme. The surveillance to be established will also enable us to verify whether the conclusions drawn from the initial studies are well-founded.

Such is the outline of the method which makes it possible to determine the capacity of a disposal site.

In practice, the first step will be a preliminary study of the problem founded on the data relative to the storage conditions and information on the geological structures and hydrological network of the site, the movements of the waters and their utilization. Generally speaking, this preliminary study, with the aid of intentionally pessimistic theories, will make it possible for the problem to be placed in its proper perspective, and will show whether the exposure which may result from the disposal is negligible or significant. It is only in the last case that more complete studies will be undertaken.

### *Discussion*

Mr SMEETS (CEC-Chairman) asked Mr Mechali, in connection with critical groups, the difference between a nuclear installation and the installation of a storage centre.

Mr MECHALI: "Mr Chairman, I believe that two aspects have to be considered: the theoretical and the practical.

The problem of storage in the ground is of the same order as that of discharge into the atmosphere or into surface waters. In some countries low-level waste is stored in the ground in bulk with highly rudimentary packaging. This is an accepted method of dispersing radioelements into the environment; it is not permanent storage but deliberate dispersal. On the practical level, however, there is an essential difference, depending on whether the radioelements are dispersed in the ground or direct in watercourses.

When radioelements are stored, the contamination of water, surface water after ground water, is very small because of absorption in the ground. Furthermore, the contamination is delayed to a considerable extent, and in the case of short- or medium-lived radioelements, the activity of the usable water will be considerably reduced.

For stores, with confinement regarded as safe, attention must be given to the possibilities of the packaging being affected by various processes and radioelements being released when the site is chosen. For this reason it is essential to have a site study before setting up a storage centre. It may be that in some cases the geological, hydrological, etc., structures

are such that complex studies can be dispensed with, but the preliminary study with the available information, is always essential even where the confinement is safe.”

Mr CANTILLON: “Mr Chairman, in this field, a study can be unlimited or it may stop at the fundamental parameters. I wonder whether we should turn our philosophy in the same direction as the safety studies in nuclear power stations. The construction of a power station at present costs 7 000 to 8 000 million Belgian francs, and at this price it is virtually impossible to countenance an accident.

With radioactive waste, it is possible to use a series of barriers, each of which permits assessment, under pessimistic conditions, of the rate of migration from a store or a pipe. In this way an acceptable risk can be defined.

In this connection I should like to ask whether there are any concrete legal provisions regarding burial in the various countries of the Community.

In Belgium we distinguish between liquid and gaseous waste and storage on or in the ground, but the law encompasses everything in a very simple form, for example, for solid waste stored on or in the ground it is proposed that geological, hydrological, biological and seismological studies should be carried out, as well as studies of fauna and flora. Obviously, once such studies are undertaken, they could easily fully occupy all our universities and all our research workers for a very long time. The application of this provision should be reviewed on a broad basis, experts in the field being called in. It is necessary to accept calculated risks, and the problem must be solved in a way guaranteeing both safety (health protection) and industrial possibilities.

In my view, we must have wider contacts with industry in order to co-ordinate and harmonize these problems.”

Mr MECHALI: “Mr Chairman, Mr Sousselier has given particulars about the French situation. He said that there were regulations governing basic nuclear plants, that each plant had to be studied in turn and that no plant could be set up without ministerial authorisation.”

Mr SMEETS (Chairman): “Does Dutch law, i.e. the nuclear energy law, have any provisions in this respect?”

Mr SEGERS: “Separate authorisation is necessary in the Netherlands for discharge or the storage of radioactive waste. No radioactive materials may be buried or discharged into water without authorisation. When

authorisation is issued, the dangers to the population are considered. Thus every discharge is actually examined individually, although some standardization has in general come to be accepted for low concentrations. This means that for example  $10^{-6}$   $\mu\text{Ci/cc}$  of long-lived nuclides may be discharged into the sewers. A long half-life means longer than 14 days; for short-lived radioactive materials ( $T_{1/2} < 14$  days) the limit is placed at  $50 \times 10^{-6}$   $\mu\text{Ci/cc}$ .

In addition, it is *not* permitted to discharge any quantity in low concentration. An absolute quantity has also been laid down, and this is, for simple isotope laboratories, a total of 100  $\mu\text{Ci}$  in any four consecutive weeks, and for larger laboratories a total of 500  $\mu\text{Ci}$  over the same period. The figures are higher for nuclear installations, but in this case location is also taken into account, e.g. by the sea or on a river, in which case the flow rate is also a factor."

Mr SMEETS (Chairman): "That covers discharges, but what is the position for storage?"

Mr SEGERS: "Authorisation is also necessary for storage. In the case of nuclear reactors, the fissile materials are sent back abroad, so that we do not at present have much in the way of problems with these. In the future perhaps we shall. For this reason I should like to ask whether it might be possible to agree in the future on a Community storage facility where radioactive waste from the entire Community can be stored.

We also have a national collection service, the radioactive waste collected being brought to Petten.

I do not regard the dumping of radioactive waste at sea as a long-term solution."

Mr SMEETS (Chairman): "With reference to your question, which was already asked yesterday by Mr Cantillon, I should like to point out that we are at a colloquium whose object is to exchange ideas. Without wishing to make recommendations, this question can be discussed as a general problem. I wonder whether this point has not already been studied at an earlier stage by Mr Grison at Euratom or touched upon in discussions."

Mr GRISON: "You have raised a delicate point, about the Community site. At the end of 1963 and beginning of 1964 a series of meetings took place in Brussels to settle the form of our second five-year plan. We put forward the idea of one or more Community sites—I believe I mentioned



three at the time. Two years ago, for the third five-year plan, not yet finalised, I again put forward this idea for radioactive waste; may I express the hope that it will be translated into reality.”

Mr KRAUSE: “I should like to comment on two points: first of all the question which was broached as to whether radioactive waste can be accommodated in a foreign country. In my personal opinion, there will certainly be serious psychological difficulties in the near future if radioactive waste is brought from one country to another for permanent storage. We spoke a great deal yesterday about the difficulties which can arise with one’s own waste in one’s own country, and these will certainly be more acute if waste is accepted from a foreign country for permanent storage. Now this is, of course, something which can be overcome in the course of time. We should not have any illusions about the fact that after that period the amount of radioactive waste in the mine will be so great that we shall probably be faced with practical difficulties. In this context I may say perhaps a few words about our salt mine. The volume is of course so big that one may ask why it is not possible to accept waste from elsewhere as well as our own. The point is that there are bottlenecks at the Asse salt mine, for example the shaft. We have calculated from timestudies that by the end of the seventies we shall no longer be able to manage with the shaft, since the transportation capacity will have become insufficient. It is this rather than volume which constitutes the bottleneck at the mine.

To sink a new shaft for a salt mine with a depth of 750 m is a project which could cost about 15 million marks, and this stands in the way of the storage of large quantities from other countries. Particularly where waste requiring shielding is stored, the shielding has to be brought into the mine with the waste, in other words you transport about 5% of actual waste and the rest is shielding. With very high-activity waste, the proportion is even more unfavourable, and this is why the shaft becomes a bottleneck.

To return to the first point, the possibility of disposing of radioactive waste in another country (and I think this is not very different from burying it). In time, there will perhaps be difficulties in finding enough room for one’s own waste in one’s own country, so that it will not be so easy to accept waste from other countries.

As regards the practical disposal of radioactive waste in the Federal Republic, the following can be said: every nuclear installation has its authorisation, which stipulates, among other things, what may be done with the radioactive waste. It is always permissible to discharge a certain quantity of liquid radioactive waste into the drains, rivers, etc. In the

past the basis was usually a concentration, but today the tendency is to quote absolute activities which may be discharged. Two points must then be taken into account: firstly the capacity of the receiving water and secondly the ability of the producer to reprocess waste. If it is possible at reasonable expense to avoid discharges, then this is required. If this cannot be achieved with normal expenditure, discharge is allowed unless, of course, there are any fundamental objections. The situation is the same with radioactive gases. Up to now there has been little in the way of restriction, and this situation could have continued for some time yet. But looking further ahead, the position may change. No doubt new techniques will be adopted to separate out these gases.

Disposal of radioactive residues in the ground in the Federal Republic of Germany is in principle forbidden. For a long time it was thought in the Federal Republic that the burial of radioactive waste should be automatically and absolutely forbidden. This view has changed and become less rigid. Nevertheless, because of the possibility of accommodating waste in the salt mine, little use will be made of burial. A few years ago, a German firm tried to obtain a licence for the burial of radioactive waste on a commercial basis, like Infracome or similar firms. A decision was postponed. As stated, burial is not absolutely forbidden, but there is not much inclination to bury on a large scale."

Mr VAN DE VOORDE: "I should like to draw your attention to the particular situation in which for example Belgium finds itself at the present time with Eurochimie. The fuel from neighbouring countries is processed in Belgium and then sent back to those countries; the waste stays in Belgium. I believe that it need not be difficult to agree on a Community waste storage location "foreign" waste can be accepted elsewhere, just as it is now in Belgium."

Mr FONTAINE: "I would point out that we have at Ispra a Community centre producing 200 m<sup>3</sup> of medium- and low-level waste per year. We thus have a production of waste and a temporary Community store on the site; we are waiting for the permanent Community store."

Mr SCHEIDHAUER: "It is low- and medium-level waste which raises the most problems. What is expensive is the transport of this waste. A good site is chosen not only for health reasons; it must also be close to the centres of production, where the population is small, where the local authorities may be interested, etc. Of all the sites considered, the eventual choice will obviously be selected for its potential safety. For the transportation of waste across Europe, it is necessary to specify its nature:

solidified fission products, or packaged waste, but then the economic and health aspects complicate the problem. If one does not wish to incur the great expense of safety studies, then money has to be spent on packaging and storage; the health problem cannot be considered in isolation.”

Mr MEHL: “Before going on to deal with the supervision of storage sites, I should like to draw attention to two factors that might affect estimates of radioactive residues over the next 30 years, and which have not so far been specifically defined:

- 1) The period of validity of the radiation protection reference values at present applied.
- 2) Period of applicability for the discharge of certain long-lived radioactive materials.

The influence of the first factor becomes clear if we review the development of the reference values over the past 30 years. If it should become necessary in the coming decades to reduce these reference values still further, the amount of residues to be retained, treated and stored would certainly increase.

The influence of the second factor can be illustrated by the example of Kr-85: as soon as the Kr-85 limiting capacity of the atmosphere is reached, it will no longer be possible simply to discharge this nuclide; it will have to be retained, and this may give rise to considerable problems of treatment and storage of this radionuclide which have not hitherto been allowed for in calculations. It would therefore be wise, in long-term forecasting, to bear these two factors in mind.

Another factor which needs to be borne in mind—and this point brings me to the subject of storage site supervision—is the stored radioactive materials themselves. It is a well-known ICRP concept that radiation protection should aim primarily at monitoring the source of radioactivity. This concept should not be abandoned without very good reason. The indirect monitoring of sources by way of environmental monitoring is fraught with uncertainties and information is subject to delay. It would thus certainly be of advantage if storage site supervision was, to a greater extent than has hitherto been evident from the literature, based on procedures which make possible the direct monitoring of radiation sources.”

Mr LENZI: “I wish to ask those present about the problem of the disposal of krypton in particular and radioactive gases in general: do practical techniques at present exist for the injection of radioactive gases into the ground as their final destination? Can anyone answer this question?”

Mr FARGES: "There is Mr Pannetier's project for the storage of krypton in appropriate underground structures, comparable with those used for the storage of gas or petroleum products (reference CEA-R 3591 (1968), "Distribution, transfert atmosphérique et bilan du krypton-85" ("Distribution, atmospheric transfer and balance of krypton 85"))."

Mr BARBREAU: "In this connection, it is even proposed to use the ground, to provide a time-lag, for the temporary storage of the gases from reactor containments, in the case of an accident, rather than releasing them suddenly into the atmosphere."

**V—PRACTICAL ORGANISATION  
OF MONITORING AND SURVEILLANCE  
OF RADIOACTIVE POLLUTION IN THE AREA  
OF A RADIOACTIVE WASTE BURIAL GROUND**

*Chairman:*

J. Smeets (CEC, Luxemburg)



## 1—PRACTICAL MONITORING OF A WASTE STORAGE SITE

H. Krause (Federal Republic of Germany)

Before a permanent storage site for radioactive waste is opened, in addition to investigations to confirm the suitability of the site, measurements of the ambient level should also be conducted. The points which it is most appropriate to examine must be decided upon in each individual case on the basis of local circumstances. The type of storage site (salt mine burial, etc.) and the nature of the waste are important factors as regards the monitoring programme. In many cases measurements of the ground water, precipitation, vegetation, etc., will be carried out.

When the storage site is in operation, these examinations should be repeated at regular intervals. Before approval is given for the setting up of a storage site, arrangements should be made to ensure that monitoring continues even after the last waste has been placed in it. Because of the long periods of monitoring and the by no means negligible costs, it is useful for a State body to be responsible, if not for the actual storage, at least for the monitoring.

In the case of *storage in a salt formation* no special monitoring measures are necessary provided that the storage site is securely isolated from the biosphere. An air monitoring programme is needed only in the case of the storage of gases or waste which may release gaseous radionuclides (e.g. unprocessed fuel elements of the "globular cluster" type). If there is not total isolation from the ground water, the latter must also be monitored.

In the case of the *burial of radioactive waste in the ground*, seepage water in drainage ditches should be regularly monitored. In addition the ground water should be checked at a number of points, especially in the direction of flow. While material is being placed in storage, the air, precipitation and vegetation should also be examined, since contamination due to inadequately packed or externally contaminated material, the release of tritium, radon, etc., or through accidents (dropping and bursting open of containers, fire, etc.) cannot be entirely ruled out. Naturally, the dose must also be measured at accessible points.

**2—SURVEILLANCE  
OF THE RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE  
AT LA HAGUE (MANCHE CENTRE)**

J. Scheidhauer (France)

**a) Situation of the Centre**

The Centre de la Manche, administered by the Society Infratome, is located on the East extension of the Centre de La Hague. As soon as the storage of solid radioactive wastes was envisaged, this site was studied by the Radioactive Safety Study Service of the French Atomic Energy Commission (SESR) to determine the essential elements of the hydrogeology of the site.

The site extends over the most elevated part of the region which forms a crest of 160 to 180 m. It is therefore a high zone from where the running waters flow both towards the north and south sides. The St. Helene and Roteurs streams are on the north.

These streams reach the sea after flowing about 3 km through villages and pastures, and supply watering places and wash-houses.

The rainfall is fairly high and reaches almost 1 m per annum. The water table is a surface one, independent of the nature of the land. Its level is often only a few metres below ground. Its variations are relatively important and seasonal (from 3 to 5 metres to 12 metres deep). In the zone considered, the drainage area is entirely on the north side and is represented by the springs feeding also the St. Helene and Roteurs streams. The south side is not affected by the disposal site.

In practice, four kinds of storage are being considered for the disposal site:

- (i) surface storage of cement blocks and cemented drums with grass cover,
- (ii) storage in simple drained trenches providing surface tightness of low activity wastes in drums,
- (iii) storage in concrete compartments of the other wastes in drums and of loose wastes,
- (iv) temporary transit storage, outside or under a shelter.



## b) Organisation of the surveillance

The governing idea was to carry out a relatively frequent surveillance of the sources of possible pollution and a less stringent control of more distant points. A network of permanent measuring points is foreseen and maintained.

Finally, the surveillance is, of course, mainly directed to the underground and surface hydrological system, but a routine atmospheric surveillance is also performed.

The application of these general principles is slightly modified by the psychological aspect of the control. This has led to the setting up of a station for the continuous monitoring of water in a drainage stream for the surface waters from the disposal site.

In practice, the surveillance is defined as follows:

Level	Sampling point	Nature	Frequency
Possible sources of contamination	Well of a drained trench Rough-cast ditch pipes Surface disposal trap	water (mud)	fortnightly
Water running from the Centre	Gutter inspection hole	water (mud)	fortnightly
Water table below the Centre	Drilling	water	monthly
Drainage surface	Decantation basin St. Helene continuous control station	water + mud	monthly
Environment	St. Helene stream Roteurs stream External drill-holes north and east	water + mud water + mud water	monthly monthly quarterly

The surveillance of the disposal site was based on that practised at the industrial site of La Hague with which it is integrated. The determination of the level of the underground water table is part of the systematic survey of the piezometric network for the whole of the Centre. The burial points are monitored in the first place by frequent rough measurements carried out by Infratome itself, some samples being transmitted to the Health Physics Section of La Hague.

Finally, an important activity from the prevention viewpoint must also be performed: the assignment of a disposal site for each lot of wastes. The authorisation decree for the site distinguished low activity wastes as having a maximum volume activity of 1 000 times the MPC activity of drinking water (maximum permissible concentration as indicated in the annex to the decree, 15 March 1967). It is often necessary to carry out identifications and measurements when, economically, the lots are worth it. This work is obviously done in collaboration between Infratome and the specialized laboratory of La Hague.

This fairly complete surveillance programme is already being performed. It has enabled us to gather interesting information on the variations that may be termed normal in the absence of any influence of the waste disposal site.

It is quite obvious that a considerable relaxation of the external controls is required so long as the measurements of the possible sources of pollution give negative results. The surveillance of these sources must be practical and flexible, allowing an intense effort whenever a new development can be detected. Each detection of radioactivity must, in this case, be accompanied by additional measurements in order to define exactly the level of the contamination and its possible progress.

### **c) Conclusion**

The waste disposal site of the Centre of La Manche is to be considered as the first national industrial waste disposal experiment. Its presence in a CEA Centre permits of safe and economic operation. The economic choices can be made quite safely with very limited own means of surveillance. <sup>(1)</sup>

### *Discussion*

Mr KÜHN: "As Mr Krause has already said, with salt storage actual monitoring of the environment in the traditional form, as has to be used with burial, is unnecessary, since the basis of salt storage is that waste accommodated in a salt mine has no connection with the biocycle, i.e. environmental monitoring is carried out only as a security check. We

---

<sup>(1)</sup> Supplementary details concerning INFRATOME are given in the Annex.

have certain projects in progress on the Asse in connection with this check programme; these had already been started before we began placing material in the storage site, that is to say, we carried out prior measurements.

I should now like to outline very briefly the details of what we are doing. We have a hydrological programme divided into environmental monitoring and ground water examination. For environmental monitoring, we have set up approximately seventy measuring points along the length of the Asse ridge, mainly on drainage outfalls, springs, streams, receiving waters and wells. At these, hydrological parameters such as temperature, density, pH and conductivity are measured. In addition, samples are taken regularly and examined for radioactivity, as well as being chemically analyzed.

In the hydrological research programme, borings between 50 and 200 m deep are being sunk. In these borings measurements are carried out at first of the volume of ground water, its direction of flow and its flow rate. Later, these borings will be expanded to form hydrological measuring levels and incorporated into the environmental monitoring network.

In the routine activity checks, we also check the drinking water installations of the surrounding communities for activity at quarterly intervals, in order to assure the population that nothing is happening to their disadvantage; on the contrary it is benefiting from our subjecting their water to close examination. We have also set up a conventional weather station on the Asse although in fact this would be the last channel by which any radioactivity might escape.

Furthermore we take annual soil samples, which are examined for activity. Monitoring within the pit extends to the air only. Samples are taken at appropriate points on a non-continuous basis, at weekly intervals. In addition the activity is monitored continuously in the return-air shaft through which air is extracted from the mine. Again, every time material is placed in the store, the appropriate area is monitored for contamination. That, in brief, is what I have to say."

Mr BRANCA: "I should like to return for a moment to the matter of the destination of radionuclides introduced into the receiving environment with the waste. By means of a compartment model and the relative formulae, it is possible to estimate the concentrations of a particular radionuclide in the various components of the environment, and hence to estimate the introductions and/or exposures sustained by the various population groups concerned. This involves identification of the *critical group, or groups*, i.e. the ones corresponding to the highest of all the

exposures or introductions calculated in this way, and the *critical path*, i.e. the one which makes the preponderant contribution to the overall exposure. The *critical area*, finally, will be the geographical area through which all these critical paths pass. From these definitions of critical path and critical area, it is obvious how the importance of these parameters is to be assessed in connection with the operations of supervision and monitoring. Indeed, the latter can be restricted to those parts of the entire receiving environment in which the propagation of the radionuclides is most pronounced.

Clearly, exact quantification of the receptivity of a site and identification of the critical elements requires very substantial prior study and research. In my opinion, however, all this effort will be amply worthwhile, since rational use will be made of a particular site, and at the same time the subsequent costs of monitoring associated with health control of the environment will be reduced."

Mr VAN DE VOORDE: "I note that in general a dry site is sought for a storage site, i.e. a site where there is no water. On the other hand, for the purpose of monitoring, it is the contamination, if any, of water which is measured. This is in some way inconsistent. Furthermore, the interaction in a dry situation is very different from the case in the wet."

Mr SMEETS (Chairman): "This is indeed a paradox. Psychological factors of course play an important part here."

Mr SCHEIDHAUER: "It should be said that radiological monitoring of the environment of the Infratome centre is carried out conventionally (air, water, vegetation) by the La Hague centre. The data obtained are communicated to the control bodies. There are a number of "psychological" measuring points (a water tower in a nearby village)."

Mr KRAUSE: "We do not live in a dry zone. This basically applies to the whole of Europe. But the American burial sites are also not all in absolutely arid climate regions. There it is of course possible to assume that there is no contact between the water and the waste. But here in Europe, we must assume that there is contact with water when we bury in the ground. Naturally, no one will deposit his waste in the ground water. But we have rainfall, and this is sufficient to cause some break-up of the waste and some leaching out of the residues.

A second point, of course, must also be taken into account: notwithstanding much work we do on the waste itself, in short-term

laboratory experiments and under idealized conditions, we shall never be able to cover the entire spectrum, but only a few general aspects. Exactly the same applies to work on e.g. the exchange capacity of the ground. When we perform experiments in a column, the conditions are usually *a priori* not truly representative. We find frequently in nature interfering factors. What is the good of the best exchange capacity if there are faults and the like in the ground. This is something that is not always established until you have environmental monitoring. The American experiences do confirm this not so much on their burial sites, but on the wells. Suddenly you find that because of such faults and discontinuities many times the amount of activity, that you would have expected beforehand from the investigation programme, has disappeared.”

Mr VAN DE VOORDE: “I can imagine that water samples are taken and that one is pleased if nothing is measured. But what does one do if one really does measure radioactivity? What practical action will be taken in such a case?”

Mr SMEETS (Chairman): “An important factor is the system of drinking water supply in the area surrounding these storage facilities, for example in Asse and in La Hague. Is the drinking water supply public or are there, for instance, also farms with water wells in the area? In the case of a public supply, it will be less difficult to determine any contamination and it will be easier to take appropriate action.”

Mr VAN DE VOORDE: “I do not agree with Mr Krause when he speaks of a reactor accident and compares it with a storage accident. These cases cannot be compared.”

Mr SCHEIDHAUER: A few personal remarks:

- “a) Regarding contamination of the water table at a centre (not La Hague) where we had an incident: liquid waste passed into the water table as a result of an accidental discharge. This activity was conserved and still exists, according to the results notified to me periodically.
- b) The safety studies carried out on the surface and underground hydrology of La Hague have raised the question of what action should be taken if a rise in activity were to be detected. In view of the precise location of the waste, it should be easy to identify the area in which the pollution originates. The only possible economic action seems to be recovery of this waste. But we shall always have to deal with particular cases. In the last analysis the safeguarding operation will be the responsibility of those in charge of radiological safety.”

Mr BOVARD: "I agree with Mr Scheidhauer about storage over a period of time. In Marcoule, we stored material on the surface and not in depth; we had a very "shifting" layer of sand, the alluvial stratum of the Rhône, and for this reason the waste was not buried. On the day of the incident, the activity became fixed in the sand, and it was washed out homogeneously. Now equilibrium has been restored, and the sand every day releases a certain amount of radioactivity."

Mr NARDI: *Environmental monitoring and analysis of the risks of trench burial.*

"Environmental monitoring: if the sole purpose of this monitoring is to estimate the dose received by the population, it would be sufficient to measure only the final compartment of the system (e.g. milk, vegetation, etc.); but these measurements cannot be regarded as preventive measurements, precisely because they are carried out on the last link in the chain; thus it is also desirable, for the sake of prior knowledge, to monitor the first link as well, i.e. the ground water.

Regarding analysis of the risks, the procedure in Italy is as follows: when an operator applies for authorization to set up a nuclear plant, he must make an analysis of the consequent risks to the staff and to the population living in the immediate area of the plant.

The scope of the analysis obviously depends on the size of the plant and the volume of its discharges.

However, the following two aspects can be distinguished:

1. Theoretical, and hence cautious, estimation of the receptivity of the environment;
2. Experimental determination of the actual receptivity.

If the amount of the discharges anticipated is much less than the receptivity calculated in accordance with point 1, the operator is required merely to carry out confirmatory measurements.

If, on the other hand, the amount of the anticipated discharges is close to the theoretical receptivity, the operator is obliged to carry out the experimental study (point 2), whose scope and detail will be more extensive the higher the proposed discharge.

The job of the competent authority is, of course, to keep "undue discharges" to a minimum."

Mr SMEETS (Chairman): "I am afraid of an enormous escalation in the constitution of measuring programmes if we are to take account of all these factors, although I agree that a number of protective measures are necessary from the point of view of health protection.

In this connection may I again refer to Report No. 7 of the ICRP on the examination of critical nuclides and critical pathways. I would also refer to the economic aspects (cost/benefit), which were mentioned earlier by Mr Mechali."

Mr MECHALI: "I do not know how to react to what you have just said. I believe that the control programme must be reasonable and that inflation must be avoided. In the early days of atomic energy, the control programme was broad, extensive and indeed excessive. The tendency now is towards reasonable programmes. It is necessary to control the ways by which the activity might reach man.

There is no doubt that with the transit times of radioelements in the ground, they will not appear until after a prolonged latency period. Continuous control and monitoring must provide not only information for use in assessment of the present health situation but also data on the basis of which medium-term and long-term forecasts of the variation of the radioactivity in the water used can be made."

Mr CANTILLON: "I agree with Mr Mechali. We must avoid the choice of sites where excessively sudden variations in the flow of water are possible.

If samples can be taken, we have guarantees for surveillance of the situation. It seems to me to be reassuring to know the way a situation is varying."

Mr BERLIN: "I should like to ask Mr Krause for some information about the administration of the salt mine."

Mr KRAUSE: "The Asse salt mine is run by the Gesellschaft für Strahlenforschung, of Neuherberg. This body is a wholly-owned State company with the legal status of a limited liability company. Basically, there is no law or legal regulation either permitting or prohibiting the storage of waste in the Asse salt mine. What happens is the same as with all other nuclear installations, i.e. we apply for authorisation. This is obtained in Germany from different authorities in each *Land*, on the basis of a safety report setting out the types and quantities of radioactive material to be maintained or stored and analysing every conceivable

accident, incident, etc. In the case of the Asse salt mine, the immediate supervisory authority is the Office of Mines (Bergamt), as the mine authorities are responsible for the safety of all mines. The responsibility of this authority has been extended to cover the safety of the storage of radioactive waste. The overlord authority for the mine authorities in this case is the Economics Ministry of Lower Saxony."

Mr BARBREAU: "A few remarks about monitoring problems: several experts have said that excessive monitoring is undesirable. The way in which the monitoring to be carried out is decided upon should be examined. In general, when a study for a storage area is carried out correctly, the envelope of the risk is defined, i.e. the transfer parameters. These are the result of two factors: firstly, the possible setting in motion of the radioactivity by underground waters and, secondly, retention by the ground. From these, one determines the risk presented by the site, which may be greater or smaller or virtually non-existent for some sites. The extent of the monitoring operations on the site is fixed. When the movement of the ground water is slow, it is superfluous to multiply the number of monitoring points; on the other hand, if transfer phenomena predominate and the ground water flow is very fast, a large number of monitoring points will be required, so that the destination of the radioactivity in the ground can be followed. This applies to surface sites. The second aspect in the site is that of final confinement, allowing for the fact that it will rain and that ground water exists. For storage facilities in salt, like the one described by Mr Krause, which is a completely dry environment, I consider that monitoring, except for the actual mine cavity, is principally psychological. For there to be any risk whatsoever to the waters surrounding the mine in which the waste is stored, the mine would have to be flooded. If there is merely infiltration of water, it will never leave the mine again, since its pressure is higher outside than inside. It can only enter. For there to be any possibility of the radioactivity emerging through water penetrating into the mine, the mine would have to be completely full of water. Even then, it is not definite that the radioactivity would shift, since the mine or cavity is connected to the outside by shafts or bore-holes, designed to be watertight. In the last analysis, there is little chance of a significant migration of radioactivity from the mine. I imagine that the monitoring operations around the mine serve solely to reassure the population.

I am convinced that if monitoring expenditure is limited, in accordance with prior radiological safety studies carried out on sites, these monitoring points should be limited to the strict minimum compatible with safety. There will always be, perhaps unfortunately, a psychological aspect making



it necessary to carry out certain monitoring operations which the experts know to be absolutely useless. I am thinking, for example, of the problem of injection at great depths: this is considered to be a highly advantageous technique from the point of view of economy and of radiological safety. There are monitoring shafts around these injection points; there is no real point in this, since the problem of waste in deep strata arises from the viewpoint of radiological safety in certain particular aspects. If there is any risk, injection is ruled out, and, on the other hand, if there is no risk, then one can inject. There are only these two alternatives."

Mr SMEETS (Chairman): "I did not think that the checks were merely psychological. Because as soon as we store highly radioactive waste in the mine, which is, it is true, dry, it does bring about certain changes in the mine, for example in the amount of ambient heat. I do not believe that this modifies the ground water level, but we must allow for possible modifications.

Some experts have raised the problem of tritium discharged in the liquid state. Some power stations discharge large quantities of tritium water, and there is a risk that certain stretches of rivers may become saturated. Studies of the biological aspect of tritium should be undertaken in order to determine the permissible standards."

Mr VAN DE VOORDE: "The radiobiologists are not yet agreed about the reconcentration of tritium in the human body. They must come to a definite conclusion about this before we study how to separate tritium oxide from hydrogen oxide. This is a virtually insoluble problem; even the injection of this water at great depths is economically practically inconceivable. In addition, it is necessary first of all to review the permissible concentrations. Because as they are at present, a great deal of tritium may be discharged into rivers."

Mr KRAUSE: "Regarding the tritium content, I would comment as follows:

Substantial amounts of tritium are formed basically at two points: firstly, in heavy water reactors; you always find concentrations in the heavy water which are not high enough to be worth processing, and which then have to be discharged. Here quite considerable amounts of tritium can arise and be discharged. However, heavy water reactors are not so widespread that they might constitute a problem for us in this respect. The second source of tritium is reprocessing plants. Small reprocessing plants can of course discharge their tritium into rivers, but when you have a thousand-ton plant, then it is no longer possible to discharge the

tritium into rivers. There are then only two alternatives: either these plants must be sited directly by the sea, and indeed this is already done for various other reasons. If this is not possible or not desired, this tritium water has to be disposed of in the deepest strata of the ground.”

Mr SCHEIDHAUER: “The solution is discharging into the sea, as we do in France.”

Mr PRADEL: “A technique used at Saclay for small quantities of tritium consists of evaporating it and discharging it into the atmosphere.”

Mr KRAUSE: “If I may add a few words: there are American studies based on the evaporation of tritium and its release into the atmosphere when the amounts are too great for discharge into rivers. This can surely be carried on much longer than river discharges.”

Mr CANTILLON: “Evaporation and discharge into the atmosphere is sometimes a solution, but the sea and the atmosphere belong to everyone. Now the production of tritium in nuclear power stations is considerable, and the activity of the water to be discharged can in many cases before dilution be far in excess of 300 000 pCi/l. The problem exists and I believe that studies must be carried out and radiobiological programmes organized to investigate it.”

Mr NARDI: “Italian experience with tritium is limited. We were concerned with it in fuel reprocessing plants, where the quantities of tritium are of the order of 500 curies per year. In Italy we have two nuclear power stations, one at the seaside and one on a river; the tritium is discharged into the river, and the Ispra centre discharges into Lake Maggiore. The receptive capacity of the lake for tritium is much higher than the output of the centre. However, I consider that the problem of tritium, like that of krypton, must be examined.”

Mr KAYSER: “As stated by Mr Krause, the retention of tritium water by the method indicated, once controlled fusion becomes industrial, will be an extremely laborious business.”

Mr PRADEL: “I should like to go back to the criteria for site selection. Few people in this room seem to me to be afraid of the short-term health consequences of a storage facility set up with a minimum of precautions and a minimum of studies. I consider that they are right. However, there is a tendency to forget the aspect of the mortgaging of the storage area with the associated constraints for a period of centuries. This is

inevitable, but we must be aware of it. For this reason it is necessary to restrict the number of burial grounds and to put up with a certain expenditure on transport; it is also necessary to keep up a small degree of monitoring and above all to draw up a file with a storage plan and an inventory specifying the nature and activity of the material. This is difficult but essential. On the basis of these precautions, the constraints are permissible. It will then be possible, for example, to build blocks of flats on the site of La Hague in a few centuries if the exact location of the sites is still properly known; similarly, it will be possible to mine ore or salt near the German salt mine used as a store; it will also be necessary to remember, for example, that it is dangerous to flood this mine or to mine the salt by dissolving it. What we must avoid for our descendants is to put them in a situation like the one faced by the men who demolished the old forts in the Paris region, thus exploding buried shells which nobody knew existed. When the situation is precisely known, the problem can always be solved.

As regards Community sites, I do not know if these are really necessary, but if so, I should like to make a suggestion:

Public opinion will not easily accept the setting up of a single site in one of our countries. However, based on economic considerations and on the fact that it is necessary to limit the number of burial grounds to avoid imposing constraints on future generations, the setting up of several specialized centres can be justified. For example, one could envisage storing high-level waste in the German mine, low- and medium-level waste at La Hague and, perhaps, also setting up in Italy a centre for discharging into the sea on the Italian coast. Personally, I would like to see this last centre specialize in very long-lived, low- or medium-level waste, so as to avoid virtually eternal constraints on land. For it seems to me that it is better to accept eternal constraints for sediments in the ocean deep; the exclusion of high activities will avoid the problem of general pollution of the sea."

Mr SMEETS (Netherlands): "Are the difficulties about which we have just been hearing again not much less if we use the ocean for dumping? The psychological problems will then also be smaller than if we transport radioactive waste from one country to another. The cost factor will also be substantially lower. It would then be possible to work internationally to achieve standardization of packing and transport, and perhaps centralization of processing of primarily high-activity materials. In this way duplication is also avoided. It is easier to solve these problems in common than individually."

Mr PRADEL: "I would make one point about Infratome. If there was a foreign request for the storage of waste, this would go to the CEA for approval. There is no law to prevent the CEA from giving its consent, if it thought fit."

## **VI—CLOSING ADDRESS**



## CLOSING ADDRESS

J. Smeets (CEC, Chairman)

At the end of this extremely interesting colloquium and of the discussions, it is my pleasant duty to thank you all for your participation in the exchange of ideas. Being myself active in the field of health protection, I am particularly happy that these discussions have taken place and with the way in which they were held. The objective we had set ourselves, that is to say, to find out about the health aspects of the storage of radioactive waste, has been achieved. I am aware that we have not obtained satisfactory answers to every point. This could not have been expected, and it is also not so important. The important fact is that through this exchange of ideas we have obtained a conception of the nature of the problems and perhaps also some indications as to possible solutions.

To sum up, I would point out that in view of the character of this meeting, it is not our purpose to make recommendations. A number of the ideas expressed will be studied and consideration will be given to the extent to which it is worth developing them further. Progress has been achieved in many interesting aspects, not least as to the desirability of investigating the possibilities of intensive international co-operation in this field. This applies both to consideration of the possibility of a Community storage facility on land and to efforts at standardisation, for example in the field of packaging, transportation and possibly processing. The limitation of volume and research on this point appears to be much desired, as well as further work on conditioning.

Psychological considerations relating to public opinion place a substantial burden on the disposal of this waste. The number of continental storage facilities at present in the Community is still very limited. It is worthwhile examining the political, economic, health, psychological and practical aspects in order to arrive at a common solution at Community level.

I will content myself with this brief summary in view of the large number of problems dealt with, and also because the temptation to go into excessive detail is great. In conclusion may I once again thank you all very much for your co-operation, which has made possible this extraordinarily fruitful exchange of ideas.

## LIST OF PARTICIPANTS

## BELGIUM

Cantillon, C.	Ministry of Public Health	14, rue Wytsman 1050 Bruxxels
Van de Voorde, N.	Nuclear Research Centre, Mol	Boeretang 200 Mol

## LUXEMBURG

Kaysers, P.	Directorate of Public Health	1, rue Aug. Lumière Luxemburg
-------------	------------------------------	----------------------------------

## GERMANY (FR)

Krause, H.	Ges. f. Kernforschung	Karlsruhe Weberstrasse 5
Kühn, K.	Ges. f. Strahlenforschung Munich	D - 3392 Clausthal- Zellerfeld Bornhardtstr. 22
Mehl, J.	Federal Ministry of Education and Science	53 Bonn Heussallee Z. 10

## FRANCE

Sousselier, Y., Chairman of the session of 14 April 1970	CEA/Nuclear Research Centre, FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Barbreau, A.	CEA/Nuclear Research Centre, Saclay	148, rue de Lourmel Paris XV <sup>e</sup>
Bovard, P.	CEA/Nuclear Research Centre, FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Farges, L.	CEA/Nuclear Research Centre, FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Manquene, J.	CEA	29, rue de la Fédération Paris XV <sup>e</sup>
Mechali, D.	CEA/Nuclear Research Centre, FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Pradel, J.	CEA/Nuclear Research Centre, FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Scheidhauer, J.	CEA, La Hague	B.P. No. 209-50 Cherbourg

## ITALY

Branca, G.	CNEN	CSN Casaccia
Lenzi, G.	CNEN	CSN Casaccia 00060 Maria di Galeria Rome
Nardi, A.	CNEN	Viale Regina Margherita 125 00198 Rome
Tosi Belleffi	Ministry of the Interior DGSA and PC	Via A. de Pretis Rome



## NETHERLANDS

Seegers, G.	Ministry of Social Affairs and Public Health	Dokter Reyersstraat 8 Leidschendam
Smeets, L.	Netherlands Reactor Centre	Reactor Centrum Nederland Petten (NH)

## COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

Smeets, J., Chairman of the session of 15 April 1970	Directorate General for Social Affairs Directorate for Health Protection	29, rue Aldringen Luxemburg
Amavis, R. Secretary of the meeting	Directorate General for Social Affairs Directorate for Health Protection	29, rue Aldringen Luxemburg
Berlin, A.	Directorate General for Social Affairs Directorate for Health Protection	29, rue Aldringen Luxemburg
Fontaine, G.	Directorate General for the Joint Research Centre	21020 Ispra (Italy)
Grison, G.	Directorate General for the Joint Research Centre	23, av. de la Joyeuse Entrée 1040 Brussels

## APPENDIX II

### INFRATOME

#### 1. Constitution and object of the company

Infratome is a joint-stock company under French law formed by Azote et Produits Chimiques, at the request of the Commissariat à l'énergie atomique, for the removal and permanent storage of solid radioactive waste.

Infratome carries out the same operations for the benefit of the nuclear power stations of Électricité de France or other users (hospitals, public and private laboratories, industry, etc.).

#### 2. Organisation of the company

##### *Registered office*

The management is located in Paris (10, Avenue George V, Paris 8<sup>e</sup>), as well as the departments organizing the removal of waste.

##### *Storage centre*

The permanent storage centre for waste is situated in the Department of Manche, near the La Hague centre of the Commissariat à l'énergie atomique, on a plot of land belonging to the Commissariat à l'énergie atomique and rented to Infratome.

#### 3. Collection operations

In the large majority of cases, packaging for transport is effected by the producing body, which also assembles the waste and loads it onto the transport vehicles.

In the case of small dispersed producers, assembly and possibly packaging can be carried out by Infratome.

#### 4. Transport

The radioactive waste is packaged so as to respect the national standards for the transportation of dangerous radioactive materials.

Use is made of 200- or 100-litre metal drums or concrete blocks weighing several tonnes.

Transportation takes place by complete loads, by lorries able to carry weights of 20 to 22 tonnes, or 240 to 250 200-litre drums.

Waste is collected from centres up to 1 000 kilometres away from the location of final storage.

#### 5. Storage centre

In addition to the actual storage installations, the centre includes the facilities necessary for the various administrative and technical operations (radiation protection, decontamination, sorting).

The radiation protection departments are responsible for :

- a) supervision of persons (within the site);
- b) monitoring of waste arriving at the site;
- c) monitoring and decontamination of equipment and vehicles used for handling and transport;
- d) environmental monitoring.

##### *Storage facilities*

The area of the centre as a whole is at present 12 hectares.

Before final storage, the radioactive waste is received in a temporary storage building, for the purpose of distribution according to the different methods of storage, and for interim accommodation between arrival and final storage.

The capacity of this building is 15 000 to 20 000 200-litre metal drums.

##### *Final storage*

- a) The waste is packaged so that there is no danger of elution by water (concrete blocks and drums encased in concrete) and directly stored in the ground.
- b) Waste contained in metal drums (ordinary), provided that its radioactivity is low, is stored in the ground in trenches, provided that there is a surface seal (plastic), and drainage of the bottom so that if necessary the ground water can be pumped in the event of a substantial rise in activity.
- c) Waste contained in metal drums, other than low-level waste, and bulk materials, are stored in concrete huts.
- d) A compacting press is now being installed, by means of which it will be possible to reduce the volume of the waste before placing in permanent storage.

*Note* : "Low-level" waste is waste whose specific activity in Ci/m<sup>3</sup> is less than 1 000 times the MPC/water (maximum permissible concentration in drinking water) of the radionuclides contained.

#### 6. Programme achieved

The collection of radioactive waste began in January 1969.

The quantities removed in 1969 correspond to the equivalent of 30 000 200-litre metal drums, i.e. :

- a volume of 6 000 m<sup>3</sup>;
- a weight of 5 000 tons.

The corresponding total activity amounts to approximately 8 000 curies.

The distance travelled by the transport vehicles in 1969 was approximately 22 000 km.





**IMPLICATIONS SANITAIRES DU STOCKAGE  
DES SUBSTANCES RADIOACTIVES  
SUR LE SOL ET DANS LE SOUS-SOL**

**Colloque Cherbourg-La Hague (France)  
14 et 15 avril 1970**

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

OFFICE DES PUBLICATIONS OFFICIELLES DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES  
Case postale 1003 — Luxembourg 1

---

DM 22,—	Bfr 300,—	Ffr 33,50	Lire 3 750	Fl 22,—	£ 2,5	\$ 6,—
---------	-----------	-----------	------------	---------	-------	--------

---

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

Direction Générale Affaires Sociales

Direction Protection Sanitaire

**IMPLICATIONS SANITAIRES DU STOCKAGE  
DES SUBSTANCES RADIOACTIVES  
SUR LE SOL ET DANS LE SOUS-SOL**

**Colloque Cherbourg-La Hague (France)**

**14 et 15 avril 1970**

Edité par :

**J. SMEETS et R. AMAVIS**

Commission des Communautés européennes

Direction Générale Affaires Sociales

Direction Protection Sanitaire

**EUR 4736 d/f/i/n**





## SOMMAIRE <sup>(1)</sup>

PRÉFACE, Dr P. RECHT . . . . .	5
I — ALLOCUTION DE BIENVENUE, INTRODUCTION ET DISCOURS INAUGURAL . . . . .	7
— M. Sollier, Centre de Cherbourg-La Hague . . . . .	9
— J. Smeets, Commission des Communautés européennes, Luxembourg . . . . .	10
— Y. Sousselier, CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses . . . . .	12
II — IMPORTANCE DES PROBLÈMES POSÉS PAR LE STOCKAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS DANS LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE . . . . .	15
— Prévisions à long terme de production de déchets radioactifs dans la Communauté européenne, G. Grison (CCE)	17
— Discussion . . . . .	28
III — CARACTÉRISATION DES INTERACTIONS DES DÉCHETS RADIOACTIFS AVEC LE MILIEU ENVIRONNANT . . . . .	53
— Interazioni fra l'ambiente ed i rifiuti solidi radioattivi sottoposti ad una eliminazione terrestre, G. Branca (Italia) . . . . .	55
— Discussion . . . . .	71

---

(<sup>1</sup>) La présente publication comprend deux parties :  
— les communications et discussions dans leur langue originale;  
— la traduction de ces textes en langue anglaise.

IV — ÉTABLISSEMENT D'UN SITE DE STOCKAGE . . .	79
1. Sitologie du stockage des déchets radioactifs, G. Grison (CCE) . . . . .	81
2. Errichtung eines Abfall-Lagers, H. Krause (Deutschland BR) . . . . .	89
3. Conséquences sanitaires du stockage de déchets radioactifs dans le sol et évaluation de la capacité de stockage d'un site, D. Mechali (France) . . . . .	92
— Discussion . . . . .	96
V — ORGANISATION PRATIQUE DU CONTRÔLE ET DE LA SURVEILLANCE DE LA POLLUTION RADIOACTIVE AUX ENVIRONS D'UN CIMETIÈRE RADIOACTIF . . . . .	103
1. Praktische Durchführung der Überwachung eines Lagers, H. Krause (Deutschland BR) . . . . .	105
2. Surveillance du dépôt de déchets radioactifs de La Hague : Centre de la Manche, J. Scheidhauer (France). . . . .	106
— Discussion . . . . .	109
VI — ALLOCUTION DE CLÔTURE . . . . .	119
J. Smeets, CCE . . . . .	121
Annexes :	
I — Liste des participants . . . . .	122
II — Société INFRATOME . . . . .	123

## PRÉFACE

Le développement de l'utilisation de l'énergie nucléaire entraînera une production accrue de déchets radioactifs. La gestion de ces déchets pose et posera de plus en plus de délicats problèmes, particulièrement dans les six pays de notre Communauté à forte densité de population. Il est donc essentiel de disposer de solutions efficaces, mais acceptables sur le plan de la sécurité et de la protection, et d'un prix de revient économiquement raisonnable. Il est prévisible que la recherche de telles solutions sera longue. Aussi est-il indispensable de l'entreprendre au plus tôt. C'est dans le but de préparer une action communautaire dans ce domaine que la réunion de Cherbourg-La Hague a été organisée.

Il s'agissait de dresser un bilan des problèmes actuels et d'évaluer les problèmes futurs, de façon à élaborer des programmes d'action rationnels, soit par la concertation des travaux nationaux, soit par la coopération au niveau international. L'objectif essentiel doit être d'assurer la protection de la santé publique et du milieu contre le risque potentiel que constitue une accumulation importante de substances radioactives; les solutions retenues doivent répondre à des impératifs sanitaires précis pour une durée de plusieurs siècles. Ceci entraîne nécessairement des considérations économiques et implique la recherche de solutions tenant compte de tous les aspects.

Cette première réunion a donné à chaque délégation la possibilité d'exposer ses préoccupations en matière de gestion de déchets, de signaler les solutions qu'elle a adoptées et de fournir des informations concernant sa politique future.

Les différents aspects du problème ont été définis et précisés; des enseignements ont été dégagés quant aux possibilités d'actions futures, au sujet desquelles on a souligné l'intérêt de la concertation et de la collaboration internationales.

Le stockage de déchets radioactifs constitue un des aspects négatifs de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Il s'agit d'en diminuer le poids économique sans compromettre la sécurité et en évitant une contamination inacceptable du milieu.

L'étude et la recherche de formules pratiques et adéquates, répondant aux impératifs sanitaires, représentent une préoccupation importante de la direction de la Protection Sanitaire.

Cette première rencontre multidisciplinaire, qui s'est déroulée dans une atmosphère très favorable, a fourni des éléments concrets de réflexion à l'égard d'un problème difficile et complexe dont la solution sera facilitée par l'établissement d'une véritable coopération européenne.

Dr P. Recht

**I — ALLOCUTION DE BIENVENUE,  
INTRODUCTION et DISCOURS INAUGURAL**

*Président :*

Y. Sousselier  
(CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)



## ALLOCUTION DE BIENVENUE

M. Sollier (directeur adjoint du Centre de Cherbourg-La Hague)

Monsieur le Président, Messieurs,

M. Boussard, directeur du Centre, étant retenu à Paris, j'ai l'honneur et le plaisir de vous accueillir en son nom au Centre de La Hague. Vous savez que le Centre de La Hague est particulièrement intéressé par le sujet de vos discussions. En effet, l'usine de retraitement des combustibles irradiés du Centre de La Hague qui est en fonctionnement depuis 1966 doit avoir, dans les années à venir, une extension importante avec la possibilité de traitement des «oxydes», d'une capacité qui, pour le moment, est fixée à environ 900 tonnes/an. Le Centre de La Hague est donc déjà et va surtout devenir un producteur important de déchets radioactifs et, par conséquent, tout ce que vous pouvez faire pour améliorer le problème de la sécurité des stockages nous intéresse directement. Je sais que vous avez durant ces deux jours un programme très chargé qui, malheureusement, ne vous laissera pas de temps pour visiter les installations de La Hague; je le regrette beaucoup. De toute façon, vous trouverez une documentation assez complète sur le Centre de La Hague dans cette salle.

## INTRODUCTION

J. Smeets (CCE, Luxembourg)

Monsieur le Président, Messieurs,

J'ai l'honneur et le plaisir, au nom de la Commission des Communautés européennes, de vous souhaiter la bienvenue au Centre de La Hague.

Je tiens à remercier le Commissariat de l'énergie atomique et la direction du Centre de La Hague pour leur hospitalité. Hospitalité qui ne se limite pas seulement à la mise à disposition de cette salle de conférence, mais à l'organisation et à l'assistance technique complète de cette réunion.

Le but de cette réunion, à caractère informatif sur les implications sanitaires du stockage des substances radioactives sur le sol et dans le sous-sol, est double :

1. Avoir un échange de vues générales et d'informations d'ordre scientifique, technique et éventuellement administratif sur ces problèmes, l'accent sera mis sur les aspects *sanitaires*.
2. Servir d'orientation aux services de la Commission de la Communauté européenne pour caractériser l'importance de ces problèmes sanitaires, à l'échelle communautaire, et pour rechercher un moyen de les résoudre.

Vous connaissez tous l'importance et l'actualité des problèmes liés à la protection de l'homme et de son environnement, à l'hygiène du milieu et à la sauvegarde des ressources naturelles; or, l'objet de cette réunion concerne justement un de ces problèmes particulièrement importants, étant donné l'évolution technologique croissante de l'énergie nucléaire.

Au mois d'octobre 1969, la puissance en énergie électronucléaire dans la Communauté était la suivante :

En fonctionnement . . . . .	3 090 MWe
En construction . . . . .	3 116 MWe
En projet . . . . .	<u>10 412 MWe</u>
soit un total de . . . . .	16 618 MWe



Cela représente une production de produits de fission, par les centrales actuellement installées, de  $1,5 \times 10^9$  curies par an et pour les centrales en construction, environ la même quantité de curies. Selon des prévisions récentes, la quantité des produits de fission passera dans quelques années à  $8,5 \times 10^9$  curies. La source principale des résidus (99,9 % de la radioactivité totale des déchets) est due au retraitement des combustibles irradiés.

M. Grison estime que la production annuelle de déchets solides conditionnés en béton ou bitume est, pour la Communauté européenne, d'environ 10 000 à 12 000 m<sup>3</sup>.

Durant les discussions de ces deux jours, nous aurons sans doute d'autres estimations plus détaillées sur les productions annuelles des déchets solides et d'effluents liquides de haute radioactivité. L'accent, pendant nos discussions, sera donc mis sur les implications d'ordre sanitaire de la gestion des déchets radioactifs en vue d'améliorer la protection de l'environnement. Il importe néanmoins de ne pas négliger les aspects économiques, également très importants pour ce problème. De même, les considérations d'ordre esthétique devront être attentivement contrôlées afin que l'implantation des cimetières nucléaires n'exerce pas une influence néfaste sur l'environnement.

J'espère vous avoir présenté, en quelques mots et dans ses généralités, le but de ce colloque.

## DISCOURS INAUGURAL

Y. Sousselier (CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)

« Merci, Monsieur Smeets, je pense que vous venez de définir d'une façon très claire l'optique et le but de nos travaux au cours de ces deux jours. Il est évident que ces problèmes de déchets sont des problèmes qui vont devenir de plus en plus difficiles, je ne dis pas de plus en plus cruciaux, parce que je suis persuadé que, dans ce domaine comme dans tous les autres domaines, aussi bien les techniciens que les spécialistes des différentes disciplines concernées ont été capables et seront encore capables d'apporter toutes les solutions nécessaires. Mais vous venez de rappeler, Monsieur Smeets, que l'ampleur du problème va croître avec le développement de l'énergie nucléaire qui commence maintenant, mais qui va s'amplifier au cours de la présente décennie et il est évident que l'on risque aussi d'assister à un phénomène qui se passe actuellement aux États-Unis par suite du mouvement d'opinion publique qui s'y développe. Je voudrais, avant de passer vraiment à notre réunion, vous dire quelques réflexions qui me semblent extrêmement importantes. En effet, il y a quelques années, dans différentes nations européennes, nous avons eu beaucoup de problèmes avec notre opinion publique qui était très sensibilisée par l'énergie nucléaire. Je crois que dans chaque pays de la Communauté, nous avons rencontré des difficultés, et en France particulièrement, quand il s'était agi d'implanter certains centres, centres d'études nucléaires ou centres de production, parce que les populations locales craignaient des incidences possibles et avaient une crainte plus ou moins vague des dangers de l'énergie nucléaire. Par contre, à cette époque, les États-Unis n'ont pas eu ces problèmes lors de l'installation de leurs centres : personne n'a rien dit quand ils ont implanté leurs centres de stockage; ils en ont plusieurs. Or, maintenant, nous assistons pratiquement à un renversement très net de la situation; l'opinion publique américaine semble avoir découvert le problème de l'énergie nucléaire avec toute l'ampleur du développement des centrales américaines. Mais, dans les audiences publiques que la législation américaine prévoit, avant l'autorisation des permis de construire, ou simplement dans certains mouvements d'opinion qui ont été lancés par tel ou tel groupement avec l'appui, il faut aussi le souligner, de tel

ou tel savant, il est évident que tout ceci a pris une importance assez considérable et que l'Atomic Energy Commission s'inquiète. Cette Commission n'a pas attendu que le mouvement prenne une telle ampleur pour le contrer et pour essayer de contre-attaquer, mais il est extrêmement difficile d'arriver à retourner une opinion publique qui a été inquiétée à tort. Je pense que dans nos pays un mouvement analogue est aussi lié au développement de l'énergie nucléaire qui est un peu plus lent en Europe qu'aux États-Unis. Dans certains pays de la Communauté, il y a actuellement un développement considérable; il est évident que tous les autres pays suivront avec un décalage plus ou moins grand, mais il est très possible qu'à l'occasion de ce développement, ou à l'occasion de l'implantation de tel ou tel centre de production et aussi, bien sûr, à l'occasion des problèmes que soulèveront ces questions de déchets et leur stockage, on assiste dans nos pays à de tels mouvements d'opinion publique et je pense que, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, la meilleure défense c'est l'attaque. Il faut quand même être prudent, car si nous annonçons que l'énergie nucléaire n'offre pas de danger, nous allons aussi inquiéter l'opinion publique, ce qui, a priori, serait mauvais. Je pense que nous avons, les uns et les autres, des possibilités d'avoir une action plus discrète et plus en profondeur, qui est une mission d'information dans certains milieux pas forcément impliqués avec l'énergie nucléaire, de façon définitive, mais dans les milieux qui composent ce qu'on est convenu d'appeler l'intelligentsia. Je pense que la tâche essentielle est de les former et de les éclairer, afin de surmonter beaucoup de difficultés. Il est certain que pour pouvoir remplir ce rôle d'information, il nous faut nous-mêmes être au courant de tous les aspects de ce problème, être vraiment au fait des difficultés, des meilleures solutions à leur apporter et c'est pour cela que toutes les réunions d'experts sur ces questions de danger radioactif, de déchets et de pollution possible de l'environnement sont absolument souhaitables actuellement.

La Commission des Communautés européennes a certainement été très bien inspirée en organisant cette réunion.»

\* \* \*



**II — IMPORTANCE DES PROBLÈMES  
POSÉS PAR LE STOCKAGE  
DES DÉCHETS RADIOACTIFS  
DANS LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE**

*Président :*

Y. Sousselier  
(CEA/CEN, Fontenay-aux-Roses)



## Prévisions à long terme de production de déchets radioactifs dans la Communauté européenne

G. Grison (CCE)

Une enquête rapide, effectuée en 1968 auprès des principaux producteurs de résidus radioactifs (centres de recherche et usine de Marcoule) a donné les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Centres de recherche	Boues conditionnées issues du traitement des effluents liquides, en m <sup>3</sup>		Matériaux solides conditionnés issus du traitement des déchets solides, en m <sup>3</sup>	
	1967	Prévisions d'accroissement	1967	Prévisions d'accroissement
Mol	40	10 % par an	120	50 % en 1968 20 % au-delà
Saclay	300	5 % par an	1 700	statu quo
Fontenay-aux-Roses	130	20 % par an	370	20 % par an
Marcoule	800		1 600	
Karlsruhe	100	50 % par an	300	30 % par an
Ispra			105	200 % en 1968 statu quo au-delà
Casaccia	5	négligeable	150	100 % en 1968 statu quo au-delà

Ces centres ont produit en 1967 un volume de résidus conditionnés totalisant 6 000 m<sup>3</sup> environ. Sur la base des prévisions annoncées, on peut estimer que l'accroissement annuel pour les prochaines années (période de 5 ans) sera de l'ordre de 500 m<sup>3</sup> environ.

Une autre donnée est fournie par la production de déchets de l'année 1968 pour l'ensemble du territoire français. Celle-ci s'est élevée à 8 000 m<sup>3</sup> de résidus de faible activité.

Enfin, une enquête effectuée en 1966 en RFA a révélé que 400 à 500 utilisateurs de matières nucléaires produisent de façon plus ou moins régulière des déchets de faible activité. Les quantités varient de quelques centaines de litres à quelques m<sup>3</sup>. Une douzaine de producteurs atteignent annuellement 5 à 30 m<sup>3</sup>. Mais le principal producteur est le Centre de recherche de Karlsruhe qui intervient pour la moitié dans le total de la production allemande.

Sur la base de ces différentes considérations, on peut estimer que la production annuelle de déchets solides conditionnés (en béton ou en bitume) pour la Communauté européenne se situe aux environs de 10 000 à 12 000 m<sup>3</sup>. Il s'agit évidemment d'une production de routine, car certaines productions exceptionnelles (telle celle provenant du démantèlement de l'usine pilote d'extraction du plutonium : 10 000 m<sup>3</sup>) peuvent influencer fortement les chiffres annuels.

Les prévisions à long terme, et même à moyen terme, sont difficiles à établir pour de nombreuses raisons qu'il serait superflu d'énumérer.

Au symposium de Richland, en février 1966, consacré à la solidification et au stockage à long terme des déchets radioactifs de haute activité, Blanco et ses collaborateurs ont publié des chiffres et des prévisions de production résumés dans le tableau suivant :

	1970	1980	2000
Capacité installée en MWc	7 000	74 000	734 000
Production annuelle d'effluents liquides haute activité en m <sup>3</sup>	117	1 240	12 800
Production annuelle de résidus solides issus du conditionnement — dito — m <sup>3</sup>	8,75	93,3	960
Production cumulée de résidus solides — dito — m <sup>3</sup>	15,6	452	8 770
Quantités cumulées de PF en t	19	305	4 250
Quantités cumulées de Sr <sup>90</sup> en MCi	18	500	8 600
Quantités cumulées de Kr <sup>85</sup> en MCi	1,2	60	920
Quantités cumulées de H <sup>3</sup> en MCi	0,02	2	29

Ces chiffres sont à rapprocher de ceux publiés dans le rapport EUR 3664 et qui, sur la base d'une estimation rapide, permettaient de prévoir que la mise en dépôt des résidus radioactifs jusqu'à l'an 2000 porterait pour la Communauté européenne sur un total de l'ordre de 3 000 t de produits de fission dont l'activité globale résiduelle à la fin de ce siècle serait d'environ 300 milliards de curies.



Nous possédons également une étude effectuée en RFA, étude qui a pour but d'estimer les diverses productions de déchets jusqu'en 1980. Ces prévisions ont été calculées sur la base d'un programme de développement des centrales nucléaires dont la puissance totale atteindrait 16 000 MWe en 1980. Il en résulte des productions des 3 types de déchets dont les détails sont donnés par 3 graphiques (fig. 1), ce qui permet de dresser le tableau résumé ci-dessous :

	Déchets solides faible activité (m <sup>3</sup> )	Déchets solides moyenne activité (m <sup>3</sup> )	Déchets solides haute activité	
			m <sup>3</sup>	Activité G. curies
1970	1 200	200	3	0,2
1975	3 000	500	20	1,-
1980	6 000	900	53	2,7

Il faut cependant signaler que ces prévisions risquent d'être sérieusement sous-estimées, car les dernières estimations du ministère de la recherche scientifique prévoient, en 1980, l'installation de 30 à 50 centrales électro-nucléaires pouvant totaliser 25 000 à 30 000 MWe. Ce nouveau programme aurait donc pour conséquence de doubler les chiffres ci-dessus.

D'autre part, sur la base d'un programme de développement électro-nucléaire à très court terme dans la Communauté européenne, les prévisions de production de déchets de haute activité issus du retraitement des combustibles irradiés ont été calculées avec détail. Celles-ci sont résumées dans le tableau ci-dessous :

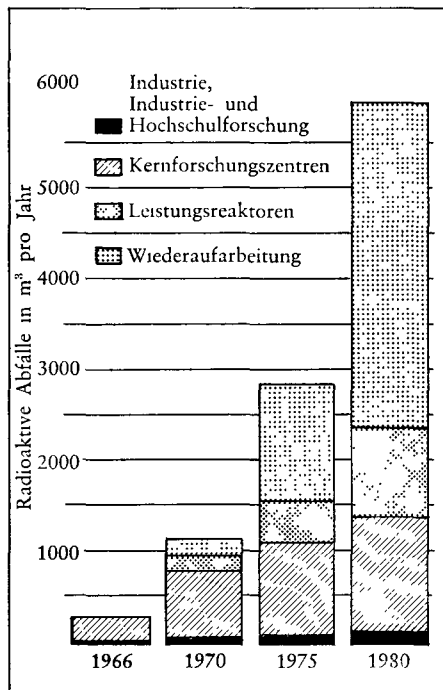
	1969	1970	1971	1972	1973
Activité PF en GCi	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7
Volume liquide en m <sup>3</sup>	60	100,0	120,0	140,0	140,0

Un programme à long terme a été publié par la Commission des Communautés européennes. Celui-ci est schématisé sur le graphique ci-joint (voir fig. 2). Bien qu'il prévoie une certaine répartition entre les différentes filières de réacteurs, le détail n'est pas suffisamment connu pour permettre

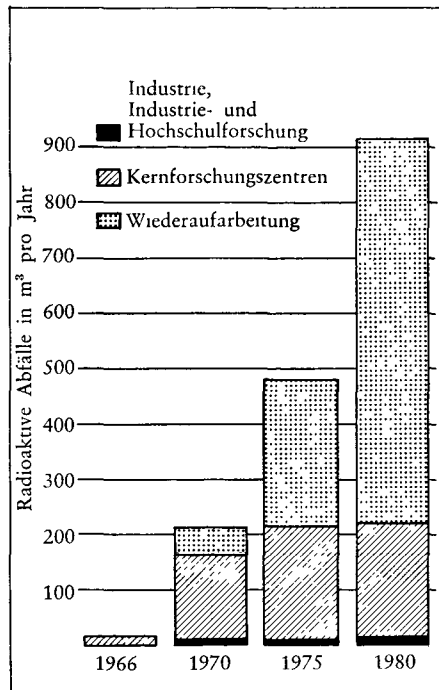
des calculs très précis sur les prévisions de production de déchets. De plus la filière « réacteurs rapides » n'a pas dépassé le stade pilote; de nombreuses données devront également être précisées dans un avenir plus ou moins lointain.

Il semble donc qu'à ce stade il faille admettre, comme bases de calcul, certaines données acquises aujourd'hui et extrapolées sur l'avenir en fonction de la puissance nucléaire globale actuellement programmée.

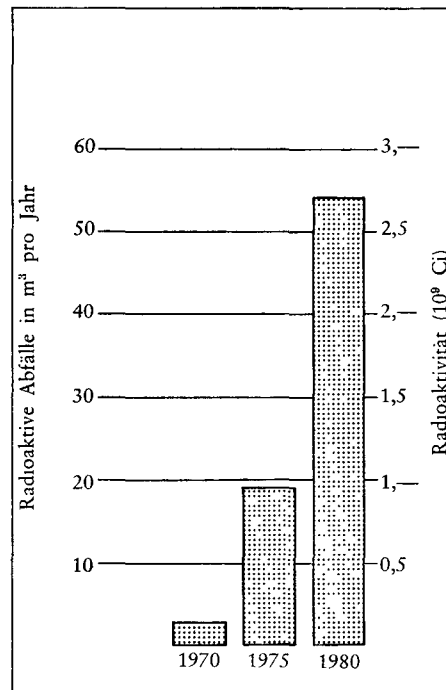
Les résultats sont résumés dans les tableaux et graphiques ci-joints (voir fig. 1, 2, 3, 4, 5 et tableaux I, II, III). Établis sur des hypothèses qui semblent raisonnables, ces résultats ont l'avantage de fixer un ordre de grandeur des quantités susceptibles d'être produites et, par conséquent, de permettre de mesurer l'importance des problèmes technico-économiques qu'ils susciteront.



Geschätzter Gesamtanfall  
an schwachaktiven Abfällen in der BRD



Geschätzter Gesamtanfall  
an mittelaktiven Abfällen in der BRD



Geschätzter Gesamtanfall  
an hochaktiven wärmeentwickelnden Abfällen  
in der BRD

Fig. 1.

PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT  
DE L'ENERGIE ELECTRONUCLEAIRE

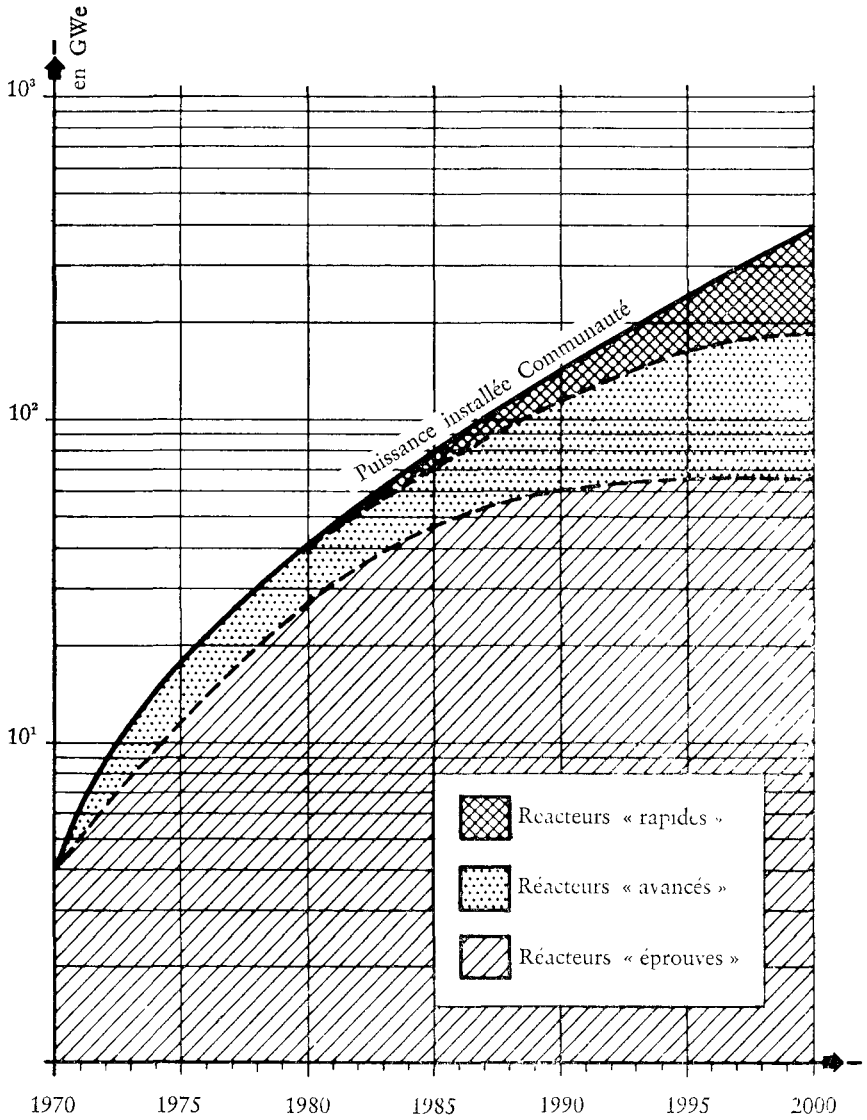


Fig. 2.

PRÉVISIONS DE PRODUCTION ANNUELLE  
DE RÉSIDUS RADIOACTIFS SOLIDES  
DANS LA COMMUNAUTÉ

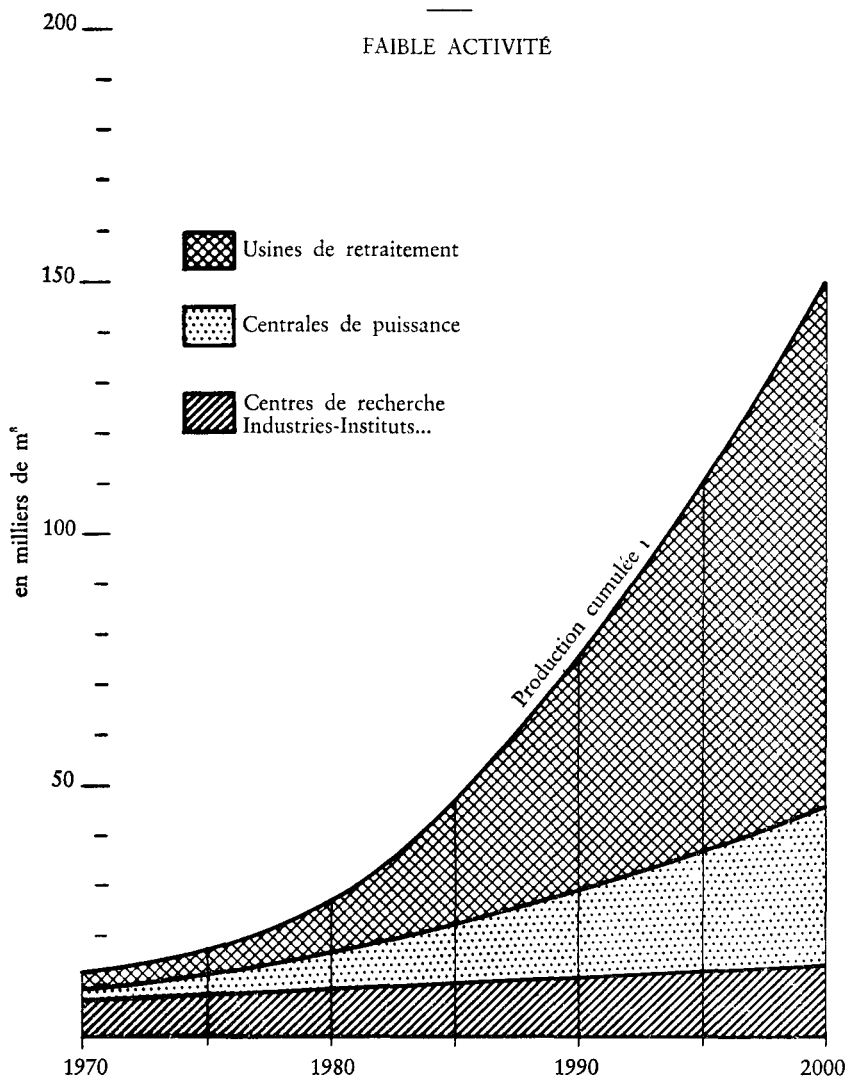


Fig. 3.

PRÉVISIONS DE PRODUCTION ANNUELLE  
DE RESIDUS RADIOACTIFS SOLIDES  
DANS LA COMMUNAUTE  
MOYENNE ACTIVITÉ

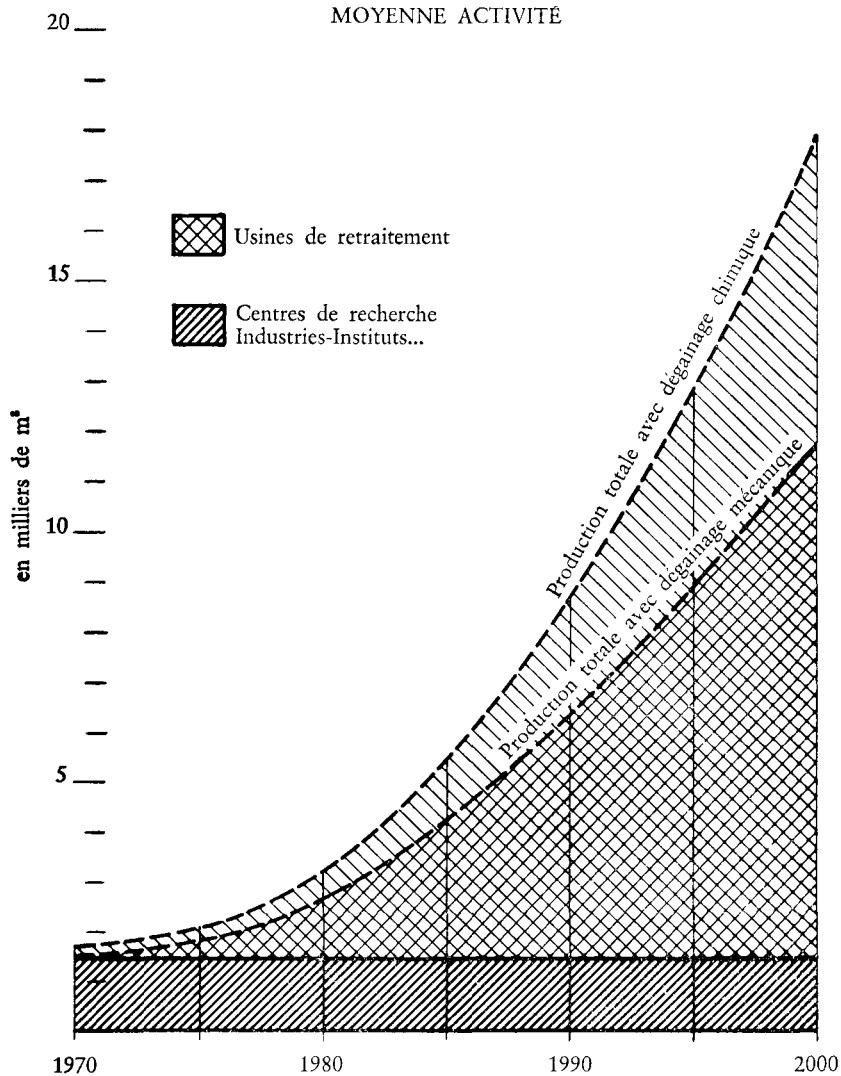


Fig. 4.

PRÉVISIONS DE PRODUCTION ANNUELLE  
DE RÉSIDUS RADIOACTIFS SOLIDES  
DANS LA COMMUNAUTE  
HAUTE ACTIVITÉ

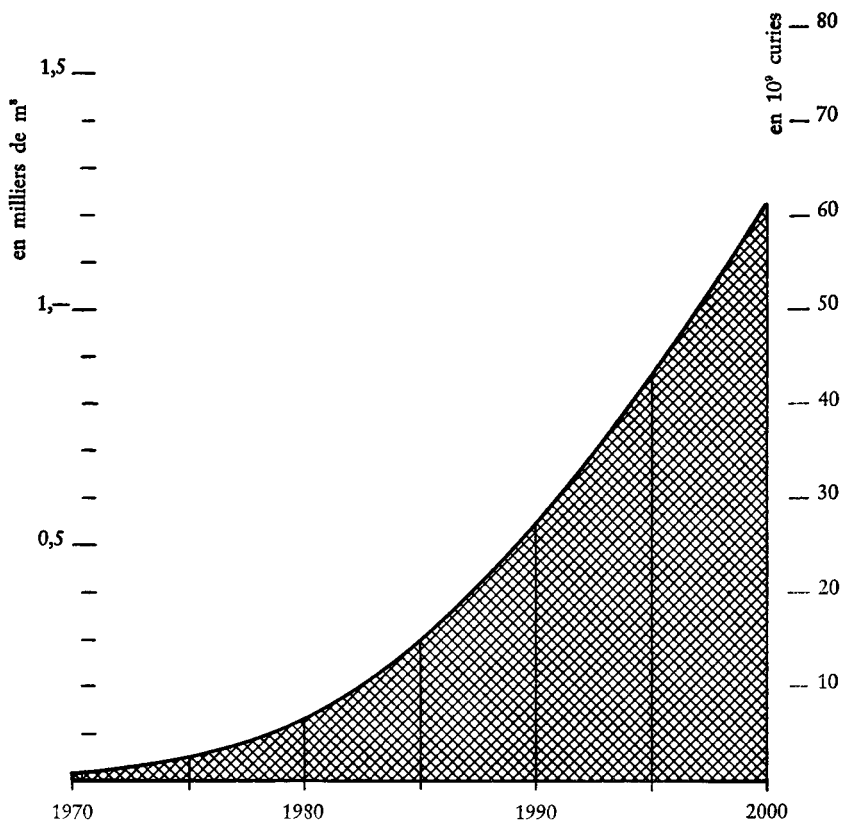


Fig. 5.

TABLEAU I

Prévisions de production de résidus radioactifs conditionnés

Faible activité

en m<sup>3</sup>

	1968	1970	1980	2000
Centres de recherche Instituts — Industrie	6 000	7 500	10 000	15 000
Réacteurs de puissance	1 400	1 600	6 400	40 000
Usines de retraitement	2 500	4 000	10 000	95 000
Total	9 900	13 100	26 400	150 000

Bases.

— Centres de recherche — Industrie — Instituts divers :

Tableau des productions 1967 avec augmentation moyenne de 5 % l'an.

— Réacteurs de puissance :

100 m<sup>3</sup> l'an par réacteur d'une puissance moyenne de 250 MWe jusque 1970; 500 MWe jusque 1980 et 750 MWe jusque 2000.

— Usines de retraitement :

A court terme : production des usines actuelles;

ensuite : 250 m<sup>3</sup> l'an par 1 000 MWe

(retraitement de 0,05 t U/MWe soit 50 t U/1 000 MWe;

production de 5 m<sup>3</sup> déchets solides/t U, soit 250 m<sup>3</sup> déchets solides/1 000 MWe).



TABLEAU II

Prévisions de production de résidus radioactifs conditionnés

Moyenne activité

	<i>en m<sup>3</sup></i>		
	1970	1980	2000
Centres de recherche Instituts -- Industrie	1 500	1 500	1 500
Usines de retraitement :			
Dégainage chimique	170	1 700	16 300
<i>ou</i> Dégainage mécanique	110	1 100	10 300
Total :			
Dégainage chimique	1 670	3 200	17 800
<i>ou</i> Dégainage mécanique	1 610	2 600	11 800

*Bases.*

— Centres de recherche, etc. : 100 m<sup>3</sup> l'an par centre de recherche important;

application d'un facteur de 1,5 pour tenir compte des petits centres, industries, etc.

— Usines de retraitement :

retraitement de 50 t combustible/1 000 MWe.

*Dégainage chimique* : 5 à 7 m<sup>3</sup> solution/t comb. à une concentration de 10<sup>4</sup> Ci/m<sup>3</sup>.

Facteur de réduction en solide : 1/7.

*Dégainage mécanique* : 8 à 10 m<sup>3</sup>/50 t combustible.

Facteur de conditionnement en solide : 3.

TABLEAU III

## Prévisions de production de résidus radioactifs conditionnés

Haute activité (PF)

*en curies et m<sup>3</sup>*

	1970	1980	2000
Activité en GCi	0,64	6,4	61
Volume liquide en m <sup>3</sup>	128	1 280	12 200
Volume solide en m <sup>3</sup>	12,8	128	1 220

*Bases.*

Traitement U Th : 1,6. 10<sup>8</sup> Ci PF/1 000 MWe à une concentration de 5.10<sup>6</sup> Ci/m<sup>3</sup> solution.

Facteur de réduction en solide : 1/10.

*Discussion*

M. SOUSSELIER souligne l'ampleur du problème ainsi que l'importance des marges d'erreurs possibles dans les prévisions. En effet, le progrès technique risque de réduire les volumes à stocker, par exemple dans le choix de conditionnement meilleur ou de processus de compression des déchets. Une autre source de modification éventuelle est un changement possible des normes (normes de rejet - normes de stockage). Par ailleurs, les effluents gazeux (gaz nobles) actuellement rejetés sans traitement peuvent dans l'avenir constituer un certain problème.

M. SOUSSELIER rappelle l'importance des problèmes psychologiques pour la création de centres de stockage. Il est important de connaître le nombre de centres de stockage à installer au cours de la décennie, des décennies à venir, dans la Communauté et aussi de savoir si, tant sur le plan économique que sur le plan psychologique, la meilleure solution sera d'avoir des centres de stockage centralisés et importants, ou bien d'avoir un nombre plus élevé de cimetières qui desserviraient un nombre beaucoup plus restreint d'installations.

A propos de la réduction de volume par des procédés techniques, M. GRISON confirme l'utilisation d'un facteur 10 lors de la solidification des déchets de haute activité.

Aux États-Unis on utilise un facteur variant de 11 à 13.

M. KRAUSE expose les prévisions faites en Allemagne jusqu'à l'an 2000 : « Actuellement, la plupart des déchets de faible activité, de 1 curie/m<sup>3</sup> à 5 curies/m<sup>3</sup> proviennent des centres de recherche. A partir de 1980, cette source restera pratiquement constante mais les déchets provenant de réacteurs de puissance représenteront 1/3 de la quantité totale. Pour les déchets de moyenne activité, la situation est semblable à celle des déchets de faible activité. Par contre, les déchets de haute activité commenceront à croître après 1980, et nous prévoyons atteindre un volume de 200 m<sup>3</sup>. Ces estimations sont prévues pour un programme de 25 000 à 30 000 MWe. »

M. SCHEIDHAUER soulève le problème des déchets de « très faible activité ».

« Il s'agit essentiellement d'un problème économique. »

M. GRISON qualifie plutôt ces déchets de « suspects » et confirme les données retenues dans ses graphiques.

« La production 1967 pour les centres de recherche augmente, en moyenne, de 5 % l'an. Ceci était plus ou moins prévu dans le programme de 5 ans; j'ai admis que la progression était constante au cours des prochaines décennies. Pour les réacteurs de puissance, j'ai pris comme bases (les chiffres sont d'ailleurs très variables pour les déchets de faible activité) 250 MWe et 100 m<sup>3</sup>/an. En effet, jusqu'en 1970 la puissance unitaire des réacteurs est de 250 MWe puis l'on prévoit qu'elle augmentera jusqu'à 500 MWe, pour arriver en l'an 2000 à 750 MWe. » Il reconnaît d'ailleurs que ces chiffres sont évidemment discutables.

M. SOUSSELIER, en conclusion, pense que pour les réacteurs, il est très difficile de prévoir exactement la quantité de déchets qui sera produite, mais que, compte tenu des grands nombres de réacteurs qui seront en service, surtout à partir des années 1980, la loi des grands nombres jouera et si pour certains réacteurs les volumes de déchets seront plus considérables, dans l'ensemble une prévision moyenne doit se révéler assez bonne.

M. KRAUSE : „Ich möchte einige Bemerkungen zur Abfallschätzung machen. Es ist nicht schlimm, wenn man sich etwas verschätzt; selbst der Faktor 2 oder 3 spielt keine große Rolle. Bei der großen Steilheit der

Kurve bedeutet dies, daß man sich nur um einige Jahre verschätzt, und es bedeutet wenig, ob man nun im Jahre 1980, 1983 oder 1977 auf denselben Punkt kommt. Wir kommen mit Sicherheit in die Größenordnung, die hier angezeigt ist."

M. GRISON : « Je crois que ce que vous venez de dire est tout à fait juste. En effet, compte tenu du taux de développement, si les estimations pour 1980 ne seront pas valables, elles le seront certainement pour la période de 1978 à 1982. »

M. SOUSSELIER, président de la séance, propose alors un tour de table de façon à recueillir des informations auprès des représentants des divers pays de la Communauté.

## 1 — ITALIA

Sig. BRANCA : « Signor Presidente, posso fornire alcuni dati circa la produzione passata ed attuale di rifiuti solidi radioattivi in Italia. (Previsioni circa il futuro possono farsi solo estrapolando i dati presenti oppure ricorrendo ad altre assunzioni, per cui non mi soffermerò su questo punto). Premetto che il problema dei rifiuti radioattivi non ha ancora raggiunto in Italia quella dimensione che ha in altri paesi, dato lo sviluppo relativamente recente del programma nucleare italiano e dato anche che il ciclo del combustibile, che rappresenta la sorgente più importante di rifiuti dal punto di vista della radioattività, è per il momento limitato, sul territorio italiano, ai soli reattori nucleari.

Come è forse noto a tutti i presenti, in Italia sono in funzione attualmente 3 centrali elettronucleari di potenza (Garigliano, Latina e Trino Vercellese).

La tabella che segue dà un'idea della quantità di rifiuti solidi prodotti, ad esempio, presso la Centrale del Garigliano.

Anno	Volume totale (m <sup>3</sup> )	Attività in Curie		
		Prodotti di attivazione	Prodotti di fissione	Totale
1965, 1966, 1967	430	360	300	660
1968	250	22 620	430	23 050
1969	190	204	490	694
Totale	970	23 364	990	24 684

Si è trattato, per lo più, di rifiuti di bassa e media attività. La cifra di 22 620 Ci associata ai rifiuti prodotti nel 1968 è dovuta quasi interamente alle guaine di acciaio inossidabile del combustibile.

Presso la centrale di Latina la produzione di rifiuti è stata invece la seguente :

Anno	Volume totale (m <sup>3</sup> )	Attività totale in Curie
1964	3	0,004
1965	20	67,1
1966	18,5	67
1967	25	57
1968	28	87
1969	15	110

Presso la centrale di Trino Vercellese infine i rifiuti finora prodotti assommano a 36 m<sup>3</sup> di rifiuti compattati, contenenti in totale 8 mCi, ed inoltre comprendono contenitori schermati pieni di resine solidificate per un totale di 4 Ci, altri contenitori contenenti rottami metallici e filtri per un totale di 120 Ci.

Tutti i rifiuti solidi prodotti presso le 3 centrali summenzionate, sono per lo più insaccati o infustati, quando non sono condizionati mediante inglobamento in calcestruzzo, ed infine avviati ad un deposito controllato « on site », realizzato, secondo le necessità, all'aperto, in capannoni all'uopo predisposti oppure in vasche di calcestruzzo. Da qualche tempo, poi, si è presa in considerazione la possibilità di uno smaltimento definitivo mediante sotterramento entro trincea.

Ciò è stato effettuato, a titolo sperimentale, presso la centrale del Garigliano, dopo che si era calcolato, con un metodo approssimativo ma a favore della sicurezza, e cioè sulla base di ipotesi estremamente conservative, la ricettività del terreno. Per il Co<sup>60</sup> (che è uno dei nuclidi caratteristici presenti nei rifiuti di un reattore) si è per esempio trovato un valore dell'attività massima che si può sotterrare pari a 640 Curie.

Tale attività, secondo quanto dichiarano i responsabili della gestione dei rifiuti radioattivi della centrale, è molto maggiore di quella che si prevede di smaltire, con i rifiuti di bassa attività, anche in 20 anni di

esercizio della centrale suddetta. (L'attività totale depositata finora nella trincea è infatti risultata di soli 5,6 Curie).

Passando ai Centri di ricerche nucleari ricorderò come, sul territorio italiano, esistano, oltre al CCR di Ispra, vari Centri nazionali. Di questi il più importante, e quello che produce la quantità maggiore di rifiuti, è il Centro di studi nucleari della Casaccia del CNEN, sede di ricerca tanto applicata che di base, per cui ritengo significativo fornire alcuni dati quantitativi in ordine alla produzione dei rifiuti radioattivi che si è ivi verificata negli anni dal 1966 al 1969.

Anno	Volume totale (m <sup>3</sup> )
1966	70
1967	142
1968	214
1969	150

Si tratta in maggior parte di rifiuti di debole attività che vengono attualmente raccolti in fusti di lamiera di acciaio da 220 litri con il criterio di tenere quelli combustibili, che rappresentano mediamente il 70 % del totale, separati dagli incombustibili. I fusti sono provvisoriamente stoccati all'aperto o in un locale coperto; in futuro i rifiuti verranno sottoposti a processi di riduzione di volume (per incenerimento, macinazione, compressione secondo i casi) e di condizionamento finale (inglobamento in calcestruzzo cementizio di tipo pozzolanico). Per quanto riguarda poi le prospettive in ordine al destino ultimo dei rifiuti radioattivi solidi debbo dire che in Italia, come del resto in molti altri paesi, non è stata ancora definita in maniera precisa quella che dovrà essere la destinazione finale dei rifiuti radioattivi solidi. Come ho accennato prima, la pratica attuale è quella di lasciare i rifiuti nei luoghi stessi di produzione anche in considerazione del volume non ingente di rifiuti che vengono oggi prodotti.

Benché non esente da inconvenienti, questa soluzione sembra peraltro l'unica possibile per il momento. L'opinione pubblica non è infatti ancora disposta in Italia ad accettare il concetto di un «cimitero radioattivo» e cioè di una zona destinata soltanto a ricevere delle scorie, senza che a ciò corrisponda una attività nucleare industriale o di ricerca capace di apportare benefici compensativi a quella stessa zona. Questo atteggiamento

negativo, essendo determinato da cause di natura puramente psicologica, non potrà essere superato che per gradi, con la progressiva familiarizzazione del pubblico, con la problematica nucleare. Più concretamente, per applicare il suddetto criterio di gradualità, si ritiene che un primo passo possa consistere nell'utilizzare l'area di deposito di un impianto per alloggiare anche i rifiuti di un altro impianto, se quell'area presenta caratteristiche generali più favorevoli. A questi stessi depositi si pensa di indirizzare anche i piccoli utilizzatori di radioisotopi che non hanno modo di risolvere individualmente il loro problema dei rifiuti solidi. In tal modo si eviterà quanto meno una disseminazione di depositi sull'intero territorio nazionale e si semplificherà di molto il problema del relativo controllo. L'idea di depositi a tempo indeterminato, o a lungo termine, aperti anche a rifiuti provenienti dall'esterno non dovrebbe suscitare reazioni sfavorevoli da parte della popolazione.

In seguito si potrà pensare a depositi veri e propri e cioè non più necessariamente legati ad impianti nucleari, così da realizzare quei cimiteri che oggi non sono bene accettati dal pubblico. Di fatto, già da qualche tempo sono in corso in Italia studi per l'individuazione di zone che si prestino alla eventuale installazione di stazioni per il deposito definitivo dei rifiuti radioattivi solidi nelle formazioni superficiali del terreno. Circa il regime giuridico di tali depositi l'orientamento è che essi debbono essere realizzati su suolo pubblico, con gestione eventualmente privata, ma sotto il controllo e la vigilanza tecnica della autorità dello Stato.

Una alternativa alla destinazione terrestre è l'affondamento in mare dei rifiuti. Le opinioni sulla bontà di tale procedura sono tuttavia contrastanti e non si può in effetti negare che essa presenti delle implicazioni di carattere politico e amministrativo, su un piano soprattutto internazionale è che ponga una serie di problemi scientifici, tecnologici ed economici. Per valutare in maniera diretta e realistica l'incidenza dei fattori summenzionati, l'Italia ha preso parte in via sperimentale con un piccolo lotto di rifiuti (100 fusti per complessive 45 tonnellate contenenti circa 2 Curie di emettitori  $\alpha$  e 3 Ci di emettitori  $\beta\gamma$ ), alla operazione internazionale di scarico di rifiuti radioattivi solidi condizionati in Atlantico, svoltasi sotto il controllo dell'ENEA nell'estate del 1969. L'esperimento ha dimostrato che l'affondamento in oceano si presenta — dal punto di vista tecnico — come una possibile soluzione del problema della destinazione ultima dei rifiuti radioattivi condizionati di debole attività.

Evidentemente una decisione ragionata in ordine a quello che dovrà essere il destino dei rifiuti radioattivi solidi prodotti in Italia non potrà prendersi che disponendo di tutti quegli elementi che permettano una valutazione comparativa delle varie possibilità e quindi la scelta più

opportuna. Gli studi sitologici cui si è accennato prima, e l'esperimento di affondamento in Atlantico, sono stati appunto rivolti in maniera concreta all'acquisizione di molti fra tali elementi di giudizio.»

\*  
\*  
\*

M. SOUSSELIER demande à M. Branca quelques renseignements complémentaires au sujet de la production de déchets par les réacteurs : «M. Grison avait pris 100 m<sup>3</sup> l'an par réacteur comme chiffre de production de déchets. Vous avez indiqué des chiffres sensiblement différents pour plusieurs réacteurs et en particulier pour le réacteur de Garigliano et pour celui de Latina. Pouvez-vous expliquer cette différence ? Ces estimations sont-elles dues à des phénomènes d'ordre accidentel ou bien à des phénomènes normaux liés au fait que ces réacteurs sont de filières différentes ?»

Sig. BRANCA : «Penso che il motivo principale di questa differenza vada ricercato nel fatto che il reattore del Garigliano è quello che ha funzionato con la maggiore regolarità e quindi per un maggior numero di ore/anno. Negli altri impianti si sono avuti degli arresti anche prolungati, per cui direi che fra i dati comunicati quelli che più riflettono una situazione normale sono quelli relativi al Garigliano.»

M. SOUSSELIER : «Je voudrais revenir sur un point important que vous avez signalé au sujet d'une réaction possible de l'opinion publique à l'implantation d'un centre de stockage. Vous estimez que l'opinion publique va accepter l'installation d'un centre de stockage pour les déchets produits par le centre installé dans la région considérée. Par contre, il vous semble que l'opinion publique serait hostile s'il s'agissait de l'installation d'un centre de stockage à un endroit où il n'y aurait pas de centres d'études ou de production. En France, nous avons eu des difficultés analogues; alors que pratiquement l'opinion publique ne s'est jamais insurgée contre le fait qu'un centre d'étude ou un centre de production produise des déchets, le contraire s'est vérifié lorsque nous avons envisagé d'installer des centres de stockage loin des centres de production de déchets ou même d'une façon simplement distincte des centres de production. Ceci me semble un point extrêmement important, un fait sur lequel il faudra encore discuter, lorsque nous aborderons les points 3 et 4 de notre ordre du jour. Cela entraîne des conséquences qui sont a priori difficiles à accepter pour les experts, surtout du point de vue radiologique. Le problème est en effet très différent; la vie d'une centrale, suivant les différents experts,



peut être estimée entre 25 et 30 ans. Il est évident que sur un site l'on peut envisager qu'à partir du moment où il y aura déclassement de centrales, d'autres centrales seraient construites sur le même site; c'est également le cas pour les différentes usines productrices de déchets. Une usine de retraitement est estimée aussi avoir une vie de l'ordre de 20 à 25 ans, mais là aussi rien n'empêcherait théoriquement, l'usine une fois démontée, déclassée, d'en reconstruire une autre. Par contre, dans l'un comme dans l'autre cas, un certain nombre de facteurs peuvent amener à ne pas reconstruire un réacteur à l'endroit où on en avait construit un, 25 ou 50 ans auparavant. En effet, les régions dans lesquelles l'électricité produite sera consommée, peuvent varier avec un certain nombre de facteurs économiques tout à fait indépendants des problèmes nucléaires. Donc, la vie d'un dépôt de stockage qui serait accolé à un centre de production serait beaucoup plus longue, puisqu'un centre de stockage, à partir du moment où l'on a à stocker des radionucléides de longue période, peut être considéré comme définitif, tout au moins définitif à notre échelle propre, c'est-à-dire pour plusieurs centaines d'années. Par ailleurs, les critères de l'installation d'un centre de stockage sont différents de ceux de l'installation d'un réacteur ou d'une usine de production. C'est donc un point extrêmement important qu'il serait bon de discuter autour de cette table. En France, il semble que l'on ait la même opinion que l'Italie à ce sujet. Mais, auparavant, il serait bon de discuter des mesures à prendre pour préparer l'opinion publique. Il s'agit évidemment d'une affaire de longue haleine. »

M. LENZI : « Vorrei aggiungere qualche notizia suppletiva a quanto esposto dall'Ing. Branca : il problema della massima sicurezza e della protezione sanitaria viene certamente tenuto presente, ogni qualvolta si deve fare uno scarico di rifiuti radioattivi nel sottosuolo. Aggiungo che il sistema di seppellimento entro fosse, al di sopra della falda acquifera mi sembra accettabile, purchè siano verificate certe condizioni ambientali. Attualmente sono in corso degli studi molto minuziosi per conoscere il destino ultimo dei radionuclidi nell'ambiente e per evitare, quanto più possibile, la contaminazione delle falde acquifere. A titolo di informazione dirò che anche presso il C.R.N. della Trisaia si esegue il seppellimento entro fosse dei rifiuti radioattivi di bassa e bassissima attività specifica, contenuti entro sacchi di plastica sigillati; si studiano poi, direttamente in sito le possibili implicazioni della migrazione e della dispersione degli ioni radioattivi nel sottosuolo e nelle acque di falda. »

M. SOUSSELIER demande ensuite à M. Krause les solutions actuellement adoptées et les orientations futures en Allemagne concernant le stockage de déchets radioactifs.

## 2 — DEUTSCHLAND (BR)

M. KRAUSE : « Je voudrais revenir sur l'effet psychologique : sur le centre de Karlsruhe nous avons eu, il y a 10 à 15 ans, beaucoup de difficultés. Après quelques années de fonctionnement de l'installation, l'opinion publique s'étant quelque peu calmée, nous avons décidé de collecter les déchets radioactifs du Land Baden-Wurtemberg. Ces déchets correspondaient à 5 % de la quantité stockée dans le centre. Or, de nouveau les difficultés ont commencé à surgir; la population craignait, pour seulement 5 % de déchets de faible activité, que le Centre de Karlsruhe ne devienne un cimetière de déchets radioactifs. Un autre exemple : nous avons échoué, par la résistance de la population, à la construction d'une caverne de stockage définitif. Par contre, comme l'a mentionné M. Branca, nous avons pu surmonter assez facilement l'utilisation d'une usine de sel abandonnée comme lieu de stockage, car cela donnait du travail et donc un avantage économique à la population.

En ce qui concerne le stockage des déchets, en Allemagne chaque grande installation nucléaire est obligée d'avoir un stockage provisoire sur le site (les déchets en provenance des petits instituts universitaires se trouvent rassemblés dans les grands centres de Karlsruhe, Jülich, Hambourg et Munich). Depuis l'année 1967, nous avons commencé à stocker et nous prévoyons d'emmagasiner dans la mine de sel de Asse tous les déchets produits. Cette mine peut contenir aussi bien les résidus de faible, moyenne et haute activité. Le volume théorique utilisable est d'environ 3 500 000 m<sup>3</sup> et devrait suffire jusqu'à l'an 2000. Pour ce qui concerne les hautes activités, nous avons des travaux en cours sur la distribution de chaleur dans le sel. Nous avons besoin de beaucoup de place car nous pensons laisser une distance de 10 m entre chaque petit puits de stockage. Nous avons calculé qu'au centre d'un récipient la température limite serait de 600 à 650 °C et d'environ 350° au contact.

Nous avons naturellement des difficultés pour les déchets qui dégagent du radium ou du tritium, car nous ne voulons pas que le personnel soit obligé de porter des masques respiratoires. Dans des cas exceptionnels, pour de très petites quantités où le transport jusqu'à la mine de sel serait trop onéreux, nous envisageons de faire des stockages dans le sol.

Nous avons aussi un autre projet, non de stockage, mais de rejet. Nous voulons essayer, à Karlsruhe, de rejeter des liquides radioactifs à grande profondeur dans une couche géologique appropriée, bien que pour l'avenir nous aurons à résoudre le problème du tritium qui ne peut être décontaminé et que nous ne voulons pas rejeter à la mer. Pour commencer, notre essai d'injection portera sur 30 à 40 curies/jour de tritium. La

profondeur des rejets sera établie en fonction des résultats des forages de reconnaissance. Nous pensons la situer vers 2 000 à 2 500 m; le pétrole se trouve dans cette région à environ 400 à 900 m de profondeur. »

\* \* \*

Sig. BRANCA : « Se ho ben capito, Signor Krause, la destinazione di una miniera di sale a luogo di deposito di rifiuti radioattivi è stata accettata dall'opinione pubblica locale perchè ciò ha permesso di alleviare il problema della disoccupazione. Vorrei chiedere in che misura ciò è avvenuto : quante persone cioè sono state impiegate e quante potranno venire impiegate in futuro per la gestione della miniera-deposito ? »

M. KRAUSE : « Il y a actuellement une quarantaine de personnes. Ce chiffre se maintiendra vraisemblablement. »

### 3 — LUXEMBOURG

M. KAYSER : « Au Luxembourg, nous n'avons que des déchets industriels qui sont évidemment négligeables par rapport aux m<sup>3</sup> ou curies des autres pays. En général, nous obligeons les importateurs de substances radioactives de rendre, après utilisation, ces substances aux exportateurs mêmes. Nous n'avons pas, par conséquent, de problèmes de stockage. »

### 4 — NEDERLAND

M. SEEGER : „De situatie is in Nederland vrijwel dezelfde als in Luxemburg. Splijtstoffen die van de reactoren afkomen gaan terug naar het buitenland voor bewerking en de rest van de stoffen, die dus door de industrie en de ziekenhuizen gebruikt worden, worden — voor zover ze niet zeer kort levend zijn — opgehaald door de Nederlandse ophaaldienst voor radioactieve stoffen, door het RCN te Petten verzameld en eventueel afgevoerd naar de Atlantische Oceaan om daar in ENEA-verband gedumpt te worden.”

M. SMEETS (Nederland) : „In verband met de hoge grondwaterstand en de bevolkingsdichtheid wordt het begraven in de grond of op andere wijze opslaan van grote hoeveelheden afvalstoffen noch door de overheid, noch door de bevolking geaccepteerd. Bovendien is het ook praktisch

niet mogelijk. Wij zijn dus echt wat de laag-actieve afvalstoffen betreft op de dumping in zee aangewezen. Omdat Nederland nog geen energie-reactoren heeft en geen reprocessing-plants, vormen de hoog-actieve afvalstoffen in veel mindere mate een echt probleem. De produktie is hoogstens enkele tientallen kubieke meters per jaar en daarvoor is dan ook in het centrum te Petten een opslagplaats gecreëerd. Voor de rest geloof ik dat het scheppen van opslagplaatsen op het land een beetje het verschuiven van het probleem is. Immers de zee is in feite een enorme opslagplaats! De controle is weliswaar minder goed mogelijk; in internationaal verband kan dan wel research gepleegd worden omtrent het gedrag van radionucliden op de bodem van de zee."

\* \* \*

M. SOUSSELIER pose deux questions aux représentants des Pays-Bas :

« Vous avez dit que vous aviez dans votre centre de Petten un centre de stockage et que vous le considérez comme définitif. Si c'est un centre définitif, quelles sont les précautions que vous avez prises, compte tenu des difficultés dont vous avez parlé, c'est-à-dire nappe phréatique proche du sol et grande densité de population.

La deuxième question est : avez-vous envisagé la possibilité, évoquée tout à l'heure par notre collègue allemand, de l'injection de certains déchets liquides à grande profondeur ?

Je pense que si vous avez des problèmes avec la nappe phréatique, il doit y avoir des possibilités de stockage à grande profondeur ? »

M. SMEETS (Nederland) : „De opslagplaats, zoals die voor hoog-actieve afvalstoffen gemaakt is, bestaat uit een betonnen kelder waarin een aantal eternitpijpen zijn aangebracht die aan de bovenzijde afgesloten zijn met een laag van 1,10 m zwaar beton en waarin de hoog-actieve afvalstoffen in gesloten stalen blikken worden neergelaten.

Op het ogenblik hebben wij ongeveer 100 van deze pijpen in de betonnen kelders staan in een geventileerd gebouw. Eigenlijk is het zowel een tijdelijke als definitieve opslag. De hoog-actieve afval komt van de betoncellen voor research-projecten van het laboratorium voor superkritisch onderzoek. In deze betoncellen kan het hoog- en laag-actief materiaal niet gescheiden worden. In het algemeen wordt de afval, die uit een dergelijke cel komt, daarom gekwalificeerd als hoog-actieve afval.

Ik dacht dat ook volgens de ervaringen in Engeland ongeveer 90 % van de als hoog-actieve afvalstoffen aangegeven, helemaal géén hoog-actieve afvalstoffen zijn. Deze stoffen zouden dus voor verwerking en

dumping in zee in aanmerking kunnen komen. De moeilijkheid is alleen, dat men daarvoor een installatie moet bouwen om die twee activiteits-categorieën van elkaar te kunnen scheiden en te concentreren, waarvoor thans een dergelijke installatie wordt ontworpen. De hoog-actieve afval moet definitief zijn, maar we moeten die 90 % er uithalen. Wat betreft het injecteren in dieper gelegen lagen, hiervoor heeft men vloeibare afval nodig. Vloeibare afval vormt voor ons niet of nauwelijks een probleem; deze is bij ons in grote mate laag-radioactief, welke op zee geloosd wordt, weliswaar tot een toegestaan maximum van 15 mCi/dag.

Ik vraag mij af of de economische aspecten in aanmerking genomen het injecteren in de grond mogelijk is.”

## 5 — FRANCE

M. SCHEIDHAUER : « D'une manière assez rapide, étant donné que mon expérience porte surtout sur les centres de Marcoule et de La Hague, nous avons adopté initialement les stockages dans les centres. Actuellement, nous avons en place le stockage Infratome, qui a l'ambition d'essayer de rassembler, dans une zone relativement favorable, les déchets provenant à la fois des producteurs individuels et du Commissariat à l'énergie atomique.

Cet aspect para-industriel dans le domaine des expériences des déchets est assez limité ou plutôt diversifié. Chaque centre a essayé d'utiliser, je ne dirais pas « sa » méthode, mais la méthode qui semblait la plus convenable compte tenu de son implantation. Sur le centre de La Hague, nous avons débuté avec des stockages en tranchées pleine terre. Les déchets de haute activité contenant les résidus des dégainages sont stockés dans des silos bétonnés. Ceux provenant du traitement des effluents sont également stockés dans des silos. Quelques déchets d'activité moyenne ont été stockés dans des petites fosses bétonnées. Actuellement, le transfert est en cours vers l'implantation définitive d'Infratome qui reprend des stockages en petites fosses bétonnées, permettant ainsi l'isolement des déchets qu'on qualifie de « haute activité » sans limite supérieure, mais qui correspondraient beaucoup plus aux déchets de moyenne activité. Les déchets de faible activité sont stockés dans des tranchées en terre drainées. »

\* \* \*

M. SOUSSELIER demande à M. Barbreau quelles sont les études faites en matière de stockage à long terme.

M. BARBREAU : « Voici ce qui a été fait dans ce but : nous avons étudié les différents stockages de surface qui ont été effectués par le Commissariat, le stockage Infratome et le stockage du centre de La Hague, sous l'angle de la sûreté radiologique. Nous avons étudié également les stockages à Marcoule, à Saclay et surtout à Cadarache et examiné les solutions nouvelles, en particulier pour les stockages dans le sol. Des recherches de sites de stockage de déchets solides ou liquides dans des formations salines, en profondeur, ont été effectuées dans la région de la Bresse et la région de Valence. Nous avons également examiné les possibilités d'injection de liquides en profondeur comme il est fait actuellement à Karlsruhe. »

Sig. BRANCA : « Signor Presidente, vorrei chiedere ai nostri colleghi francesi una precisazione sulla partecipazione della Francia alle operazioni di affondamento in Atlantico di rifiuti radioattivi, svoltesi sotto l'egida dell'ENEA nel 1967 e 1969. Dal momento che il porto di imbarco era Cherbourg, vicino al Centro di La Hague, come mai non si è partecipato all'esperimento con rifiuti di questo Centro, bensì con quelli di Marcoule? Reciprocamente, perché i rifiuti di Marcoule, una volta trasportati a Cherbourg non sono stati inoltrati fino al deposito di La Hague? »

M. SOUSSELIER : « Si vous le permettez, Monsieur Branca, je réponds à cette question en revenant sur certains points signalés par mes collègues du CEA. En France, à l'origine il était prévu de stocker sur nos différents sites, et en particulier sur nos centres de production Marcoule et La Hague ou même sur certains centres d'études comme Cadarache. Il y avait cependant un certain nombre de sites du Commissariat pour lequel le stockage des déchets posait un certain nombre de difficultés. Le premier d'entre eux était notre usine du Bouchet; vous savez que notre usine du Bouchet a été un des premiers centres du Commissariat puisqu'elle a été ouverte en 1946. Elle est située dans la banlieue de Paris à environ 40 km au Sud. Dans ce centre, nous faisons le raffinage de l'uranium, c'est-à-dire le traitement des concentrés d'uranium produits par nos mines et l'obtention de l'uranium sous forme d'oxyde ou d'uranium métallique suivant les destinations ultérieures. Naturellement, les questions de déchets ne se posaient que très peu et cela à un niveau assez faible étant donné qu'il s'agissait d'uranium naturel au stade du concentré, à un stade auquel le radium et ses descendants étaient déjà éliminés. Mais il y avait également, en fait il y a toujours, à notre usine du Bouchet, qui va être fermée prochainement, une autre installation qui était une installation de traitement des minerais d'uranium thorium. Cette installation traitait des minerais à haute teneur en thorium et en uranium, hautes teneurs puisque l'ensemble du thorium plus uranium pouvait se chiffrer à plusieurs dizaines pour cent, voire à plus de 50 %. Ce

minerai avait subi sur place (il provenait de Madagascar) des concentrations physiques qui l'avait enrichi sans aucune séparation préalable. Autrement dit, tous les descendants radioactifs de l'uranium et tous les descendants radioactifs du thorium étaient présents. Il en résultait des productions non négligeables de déchets de moyenne et même d'assez haute activité. Or, on se trouvait dans de très mauvaises conditions au Bouchet; nous avions une nappe phréatique qui était pratiquement au niveau du sol, une population qui était relativement dense et une utilisation de l'eau sur le plan alimentaire; pour ces déchets, nous avons fait un stockage définitif dans ce que nous appelons « un carreau » de mine d'uranium abandonnée. Il s'agissait d'un ensemble situé dans le centre de la France, un peu au Nord du Massif central, dans le Morvan — ceci pour ceux d'entre vous qui connaissent notre pays. Nous avons stocké, pendant une dizaine d'années, une quantité non négligeable de déchets. Je ne sais pas si M. Pradel a les chiffres ici, mais il y a plusieurs dizaines de milliers de fûts de faible ou de moyenne activité. On mettait les fûts en couche et puis une couche de terre stérile venant de l'extraction des minerais puisque c'était dans un terrain granitique, et ainsi de suite alternativement. Naturellement, il y a une certaine lixiviation dans ces terrains uranifères d'un carreau de mine abandonnée. La lixiviation naturelle des sols entraîne dans toutes les rivières de la région une certaine teneur en uranium et une certaine teneur en radium. Le seul souci était de constater et de vérifier, en installant ces dépôts, l'augmentation sensible des teneurs en uranium ou en radium dans le réseau hydrographique.

Néanmoins, cette solution qui avait un certain nombre d'avantages ne pouvait se développer pour de très grandes quantités de déchets. D'ailleurs, ce problème, pour le centre du Bouchet, allait forcément en diminuant, puisqu'il était prévu dans notre programme qu'il devait s'arrêter. Le second problème des déchets était celui des autres centres de la région parisienne, Fontenay-aux-Roses et Saclay. A Fontenay-aux-Roses, il n'y a pratiquement aucun terrain disponible. C'est notre plus petit centre sur le plan superficie et il n'est pas question d'y stocker sur place des déchets; matériellement ce n'est pas possible. Pour Saclay, M. Barbreau vous a dit que nous faisons un certain nombre d'essais, au point de vue stockage à grande profondeur, dans le cadre d'un programme de sûreté radiologique.

Pour en revenir à la question de M. Branca, examinons le problème de Marcoule et la différence entre Marcoule et La Hague.

L'implantation de Marcoule a été décidée essentiellement en fonction des caractéristiques que devaient avoir les principales installations qui étaient implantées, c'est-à-dire les réacteurs producteurs de plutonium d'une part et l'usine d'extraction de plutonium d'autre part. Le site de Marcoule a été choisi en 1953. En 1953, on connaissait très bien certains

problèmes de l'énergie nucléaire liés aux usines de retraitement. Par contre, on ne connaissait pas très bien le volume et l'activité de ces déchets. Le site de Marcoule a donc été choisi en fonction du refroidissement des piles; d'où la nécessité de la proximité d'un fleuve de débit important. Nous étions, en France, relativement limités; il fallait au départ un approvisionnement facile en électricité pour l'usine d'extraction de plutonium et, ultérieurement, quand nous aurions eu d'autres piles, nous devions avoir, au contraire, la possibilité de réinjecter facilement dans le réseau les quantités qui seraient produites. Il fallait aussi avoir un sol de nature suffisamment résistant, pour y implanter des ensembles tels que nos réacteurs plutonigènes, qui ont des charges au sol considérables et pour lesquels nous ne voulions pas être amenés à avoir des travaux de terrassement et de soutènement trop importants. Enfin, tout en étant à proximité immédiate d'un fleuve, il fallait être à l'abri des inondations, pas trop haut néanmoins pour ne pas grever le prix de revient du plutonium par des dépenses considérables d'énergie nécessaire au refroidissement des réacteurs.

Toutes ces considérations ont entraîné le choix du site de Marcoule. Ce n'est que par la suite que nous nous sommes aperçus des problèmes, sur le plan de stockage, de déchets de faible activité. Pour le stockage des déchets de haute activité, nous avons retenu la solution partout adoptée, c'est-à-dire des cuves en acier inox dans des cellules de béton. Solution très sûre et chère indubitablement, mais non définitive, et vous savez que nous avons actuellement une installation de vitrification prototype qui nous permet d'absorber une partie non négligeable de notre production. Lorsque nous avons constaté que les volumes de déchets radioactifs solides, issus des déchets solides et liquides provenant du traitement des effluents, étaient considérables, nous avons les possibilités d'établir sur place un stockage définitif ou un stockage provisoire. Vous vous rappelez certainement, je peux très bien vous en parler parce que cela a été assez dit dans tous les journaux de l'époque, que nous avons envisagé une première opération de rejets radioactifs en Méditerranée en 1960, c'est-à-dire juste quelques années après le démarrage de notre site. L'opération avait dans notre esprit un caractère tout à fait expérimental, elle devait permettre de déterminer sur le plan technique, sur le plan radiologique et sur le plan économique les conditions aptes à la poursuite de ce programme. En fait, à la suite d'un certain nombre de facteurs, nous avons été obligés d'annuler cette opération. Nous nous trouvons donc placés devant le problème précédent, c'est-à-dire l'établissement de stockages provisoires. Nous étions en présence de quantités de déchets qui augmentaient régulièrement et pour lesquels il fallait prévoir une solution. Pour Saclay, nous avons envisagé, à partir des années 1962-1963, mais surtout en 1964-1965, la création d'un site de stockage. A la suite d'un certain nombre d'études



et d'enquêtes, tant sur le plan économique que sur le plan radiologique, il a été décidé d'installer le centre Infracome avec le but de recueillir les déchets radioactifs de la région parisienne et, comme vous l'a rappelé tout à l'heure M. Scheidhauer, les déchets de provenance autre que le Commissariat à l'énergie atomique, c'est-à-dire de l'Électricité de France. Vous savez qu'à l'exception de la centrale de Bugey qui n'a pas encore démarré, les centrales nucléaires de l'Électricité de France sont situées pour l'instant dans la vallée de la Loire et, donc, à des distances relativement acceptables pour un stockage de déchets à La Hague. Infracome devait également recueillir les déchets en provenance des hôpitaux, des universités ou des usines privées, mais actuellement il ne s'agit que de quantités relativement faibles.

Lorsqu'en 1965 l'Agence européenne pour l'énergie nucléaire a lancé l'idée d'une opération commune dans l'océan Atlantique, nous avons tout de suite pensé qu'il était intéressant d'y faire participer Marcoule. Il s'agissait de quantités relativement importantes de déchets qui n'avaient pas été conditionnés en vue d'un stockage définitif. Cette opération eut lieu en 1967; nous y avons expédié un certain nombre de fûts, en particulier des fûts de boue provenant des premières années de fonctionnement de Marcoule avant que notre station d'enrobage des boues, de traitements des effluents liquides par bitume, soit opérationnelle. L'idée était de participer à une opération de rejet de mer en utilisant les ports méditerranéens; Marcoule est à une centaine de kilomètres de la Méditerranée. Sur le plan économique, il aurait été beaucoup plus facile et moins coûteux de faire un chargement dans un port méditerranéen plutôt que de transporter ces déchets radio-actifs à travers toute la France.

Le choix de Cherbourg est dû au fait que nous n'avions pas oublié les difficultés d'ordre psychologique rencontrées avec l'opinion publique lors de l'opération de 1960. Suite à un certain nombre de contacts officieux pris à certains niveaux, les hautes autorités du Commissariat ont estimé qu'elles préféreraient payer le surpris correspondant au transport terrestre plus long entre Marcoule et Cherbourg, que de Marcoule et un port méditerranéen, afin d'éviter justement tout risque avec l'opinion publique.

Pourquoi n'a-t-on pas fait participer les déchets de La Hague? Nous étions en 1967 et déjà en 1966 l'ampleur des participations était définie. A ce moment, le centre de La Hague était seulement en démarrage. Nous avions déjà prévu un stockage définitif sur place compte tenu de l'environnement du site, une presqu'île entourée de trois côtés par la mer; la situation se présentait favorablement sur le plan géologique et surtout radiologique. Donc en 1967 il était tout à fait normal que nous ne participions qu'avec des déchets de Marcoule. Quand l'ENEA nous a demandé de prendre part à

une deuxième opération, nous avons encore un nombre important de déchets à Marcoule, nos aires de stockage étaient assez encombrées. A La Hague au contraire, nos aires de stockage étaient loin d'être pleines, et le site d'Infra-tome, qui venait d'être installé, nous ouvrait d'autres possibilités. A ce moment, nous avons deux considérations : le point de vue économique et le point de vue pratique. Pratiquement, il fallait éliminer du site de Marcoule encore un certain nombre de fûts qui occupaient nos aires de stockage; économiquement, l'opération de 1967, bien que coûteuse, avait été très intéressante sur le plan technique, sur les difficultés rencontrées et sur l'intérêt du point de vue de l'opinion publique d'effectuer cette opération, sous l'égide d'une organisation internationale. Nous avons considéré que reparticiper à une 2<sup>e</sup> opération nous permettrait de cerner de plus près le problème du coût et de définir les avantages du stockage définitif de ce mode de déchets.

Il n'y avait donc pas de raisons d'y participer avec les déchets de La Hague mais, bien sûr, on aurait pu utiliser les ports de la Méditerranée. Je pense que ceci aurait intéressé nos collègues italiens. Mais, encore une fois, la haute direction du Commissariat, vu les problèmes psychologiques qui agitaient l'opinion publique de l'époque, n'a pas voulu prendre le risque d'utiliser un port méditerranéen. On est arrivé à ce paradoxe, que soulignait M. Branca, de rejeter les déchets de Marcoule par le port de Cherbourg proche du site de La Hague. Naturellement, nous n'allons pas continuer indéfiniment dans cette optique; le problème de nos déchets de Marcoule a évolué avec la mise en service de la station de bitumage des boues, et d'autres études sont en cours. Je sais que l'ENEA vient de lancer une enquête, auprès des pays membres, sur l'intérêt de participer à une opération ultérieure. Auparavant, il s'agit de résoudre un certain nombre de difficultés : problèmes de la garantie financière et des règlements du droit maritime. Dans le cas de notre participation éventuelle et sans vouloir préjuger de la décision qui sera prise par les Hautes Autorités du Commissariat de l'énergie atomique, je crois pouvoir vous dire que ce sera avec des déchets de Marcoule et un embarquement dans un port méditerranéen; seulement ainsi l'opération pourra se défendre économiquement par rapport à un stockage terrestre. La solution définitive pour Marcoule n'est pas encore adoptée; les déchets existants, enrobés par du bitume ou bloqués dans du béton, nous laissent grandement le temps de continuer nos études de comparaisons économiques et de sûreté, études en cours dans nos services spécialisés, de façon à adopter ainsi la meilleure solution.»

## 6 — BELGIQUE/BELGIË

M. VAN DE VOORDE : „10 jaar geleden zijn wij begonnen met een stockage op de grond of liever gezegd in de grond te overwegen, voornamelijk op een plaats gelegen in West-Vlaanderen met een lage grondwaterstand en een laag klei van ongeveer 100 m. Na enkele jaren studie samenhangend met een diepgaande studie van conditionering der bitumen, zijn wij gestoten op een belangrijke oppositie van de plaatselijke autoriteiten. De openbare opinie was tegen dit soort opslag. Toen kwam de mogelijkheid van de stockage in zee namelijk in de oceaan op 5 000 m diepte. De keuze was toen voor ons zeer gemakkelijk, aangezien de afval geconditioneerd was voor een veilige opslag in de grond, was hij zeker geschikt voor een definitieve opslag op 5 000 m onder de zeespiegel. Deze oplossing is toen direkt aangenomen en tot nu toe houden wij ons aan deze filosofie, dat wil zeggen na een goede conditionering, een definitieve opslag in zee.

Paradoxaal genoeg moeten wij rekening houden met de openbare opinie, die zich zou kunnen verzetten tegen dit soort van opslag, zodat wij dan terug zullen moeten gaan naar een methode, waartegen zij zich zeker zal verzetten. Daarom trachten wij thans methodes te ontwikkelen die zeker een stap voorwaarts betekenen, dat wil zeggen een zo goed mogelijke reductie van het volume. De openbare opinie is naar onze mening sterk beïnvloed door het volume, niet zozeer door de hoge activiteit. Op het gebied van de volumevermindering is derhalve een zeer belangrijke bijdrage te leveren.”

\* \* \*

M. SOUSSELIER : « Je pense que vous avez attiré notre attention sur un point très important : le volume. L'opinion publique est souvent beaucoup plus sensible aux problèmes des volumes qu'aux problèmes de l'activité. Il faut en tenir compte et cela probablement pour un certain nombre d'années, voire un certain nombre de décennies. Il faut mettre au point des méthodes capables de diminuer, autant que possible, les volumes pour ne pas effrayer nos opinions publiques.

Nous sommes placés face à un problème complexe; celui de l'opinion publique. Il faut en tenir compte par une action psychologique d'information; nous ne pouvons l'ignorer et elle doit nous guider. »

M. KÜHN : „Ich habe eine kleine und eine größere Frage. Sie hatten geschildert, daß die Abfallbeseitigung in Lebouchet in einem aufgegebenen Tagebau oder Steinbruch geschieht. Können Sie mir bitte sagen, welcher Art das Gestein ist und ob es sich auch um einen Untertagebau handelt?

Die zweite Frage bezieht sich auf einen etwas größeren Themenkreis, der sich hier in La Hague geradezu anbietet. Wir haben heute morgen gehört, daß die Anlage in La Hague eine Jahreskapazität von 900 Tonnen bestrahlter Kernbrennstoffe hat. Ich hätte gern Auskunft über die französische Philosophie bezüglich der Behandlung und Endlagerung hochaktiver Spaltproduktlösungen. In Ihrem Referat erwähnten Sie, daß zur Zeit in Marcoule eine Verfestigungsanlage ausprobiert wird. Soll weiterhin flüssig in Tanks unterirdisch gelagert oder soll eine große Verfestigungsanlage errichtet werden? Was geschieht mit diesen verfestigten Spaltproduktlösungen in Form von Glaskörpern? Ist dort auch schon eine Endlagerung vorgesehen? Was geschieht mit den Abfällen aus Marcoule, welches als Plutoniumzentrum und Plutoniumproduktionsstätte fungiert? Gibt es eine Auslegung für plutoniumhaltige Abfälle? Wenn wir die enormen Halbwertszeiten von Plutonium betrachten, kommen wir leicht in Zeiträume, die die Zeiträume von Strontium-90 und Cäsium-137 bei weitem übersteigen. Wir kommen in eine geologische Zeitrechnung.“

M. SOUSSELIER : « Je vous remercie de vos questions et j'essayerai de répondre à certaines d'entre elles; je demanderai à mes collègues de vous apporter des éclaircissements supplémentaires :

Le stockage des fûts du réseau des déchets en provenance de l'usine du Bouchet avait lieu en surface, avec des couches alternées de déchets et de minerais stériles qui étaient, bien sûr, de même nature du sol environnant, c'est-à-dire du granit. »

M. BARBREAU : « La nature du sol est pratiquement du granit. Du point de vue hydrologique, ce sont des nappes assez superficielles dans la partie altérée et fissurée. »

M. PRADEL donne quelques renseignements complémentaires : « Il s'agit d'un stockage en surface. La topographie du terrain était sensiblement la suivante : nous avons à proximité du carreau de la mine où se trouvait le puits un terrain avec une pente naturelle. Les fûts furent placés par couches successives et recouverts des stériles de mines qui avaient été stockés auparavant dans cette zone.

Au-dessous, il y avait une nappe phréatique, dont il était facile de contrôler l'activité puisqu'il y avait un puits servant à l'alimentation en eau des installations de la mine. Après 10 ans de mesures, nous n'avons jamais trouvé d'activité significative dans la nappe phréatique, seulement dans les eaux de ruissellement, nous trouvons des concentrations de radium de l'ordre de 10 fois la concentration maximum admissible pour les populations. »

M. SOUSSELIER : « Je pense que ceci répond à la première question posée par M. Kühn.

La 2<sup>e</sup> question concerne nos déchets à La Hague et notre philosophie pour l'avenir du stockage des produits de fission. En ce qui concerne les produits de fission, nous avons adopté pour un premier stade, aussi bien à Marcoule qu'à La Hague, le stockage sous forme liquide concentrée. A Marcoule, nous avons en fonctionnement, depuis maintenant un peu plus d'un an, une installation pilote pour la vitrification de ces produits.

En fonction des résultats que nous obtiendrons, nous prendrons les décisions définitives de stockage pour Marcoule et La Hague.

Nous considérons que la méthode de stockage actuellement utilisée, sous forme liquide dans des cuves en acier inox, elles-mêmes situées dans des cellules en béton recouvertes d'acier inox, est une méthode extrêmement sûre pour une période minimum de 20 ans. Cela signifie que, compte tenu de la date de démarrage de nos centres, en particulier de La Hague, il nous reste une période suffisamment grande pour prendre la décision définitive. Nous ne pouvons actuellement répondre, d'une façon absolue, quelle sera la solution retenue. Dans l'avenir nous adopterons certainement la solution qui consiste à solidifier ces produits de fission. Nous ne pensons pas, contrairement à une certaine opinion exprimée par nos collègues britanniques, à la solution des cuves remplaçables, par exemple, tous les 50 ans. Cela ne nous semble pas une solution économique et raisonnable sur le plan de la sûreté radiologique. Parmi les différentes méthodes de solidification, il y a encore un choix à faire, en fonction de notre expérience et de celle acquise dans les autres pays de la Communauté ou dans les États-Unis.

Pour revenir au cas particulier de La Hague, il est aussi possible, compte tenu de la nature géologique des terrains et de l'environnement et du fait que le site est entouré de 3 côtés par l'océan, que nous puissions décider la réalisation sur place du stockage définitif. Cette décision prendra un certain temps; les objectifs de sûreté radiologiques devront être atteints et les normes de nos experts respectées. Dans ce cadre, nous prendrons la solution la plus économique. Nous estimons ne pas avoir actuellement d'éléments suffisants pour prendre la solution définitive.

Naturellement, le procédé adopté en Allemagne, dont nous a parlé M. Krause, est certainement très favorable, mais il n'est pas certain, dans le cas français, compte tenu de l'implantation possible des sites de stockage et de l'implantation actuelle des sources de production, que ce soit la solution la plus économique.

Pour les déchets contenant du plutonium, il s'agit d'un faux problème, ou plutôt d'un problème mal défini. Que veut dire «déchets contenant du plutonium»? Est-ce qu'ils contiennent une quantité décelable de plutonium ou bien des quantités de plutonium supérieures à un certain niveau?

Dans le premier cas, il n'y a pas de gros problèmes. Je prends un exemple : le radium sur le plan radiologique a des caractéristiques analogues à celles du plutonium; or, dans le granit vous en avez en très faibles quantités et cela n'empêche pas d'avoir des maisons construites en cette matière. L'on ne peut donc considérer que tout déchet contenant une quantité décelable de plutonium doit être un déchet contenant du plutonium. Il y a là une définition à établir, car tous les produits de fission contiennent certaines quantités de plutonium. Dans les meilleurs résultats, obtenus par les usines de retraitement en France, environ le millième de quantité de plutonium se retrouve avec les produits de fission.

Dans ce domaine, les résultats de nos usines du Commissariat sont semblables à ceux obtenus par nos collègues anglais et américains.

Le risque du plutonium se retrouve plutôt dans certains déchets solides, venant des laboratoires dans lesquels on traite le plutonium. Notre philosophie est de diminuer ces quantités de déchets. Le plutonium est un matériau très cher, donc nous n'avons aucun intérêt à l'envoyer au rebut, et sa très longue période entraîne des précautions spéciales.

Pour ces raisons, nous trions nos déchets solides par une méthode basée sur l'émission gamma, de 380 Kev, du Pu pour déterminer la quantité de matière qui excède une certaine valeur. Les déchets correspondants seront traités par incinération et le plutonium sera ainsi récupéré. Par ce moyen, nous arrivons à diminuer dans de grandes proportions les quantités de déchets contenant du plutonium. Dans certains cas, lorsque nous avons des déchets en quantités non négligeables, ils sont stockés au centre d'Infracome. Ce procédé de stockage comprend plusieurs enveloppes de confinement et nous estimons, compte tenu des connaissances sur la résistance de certains matériaux, qu'elles pourront résister pendant des périodes de temps excessivement longues.

De plus, le site de stockage de La Hague est entouré de 3 côtés par la mer et dans le cas des éléments à périodes très longues, plusieurs siècles, comme le plutonium s'il y a lixiviation, elle serait très lente et dirigée vers la mer, ce qui offrirait une garantie suffisante.»

M. MECHALI : «Monsieur le Président, je ne vais pas vous étonner en vous disant que les hygiénistes ne sont pas opposés au point de vue que vous venez d'exposer. Je crains toutefois que lorsqu'on dépose ce

radioélément sur le sol ou dans le sol, le jugement ne puisse être fondé sur ce seul critère. Pour juger du risque d'un radioélément, il est nécessaire d'examiner son transfert dans le milieu et les voies par lesquelles il peut revenir à l'homme. Si le plutonium a été pendant longtemps un radioélément considéré comme extrêmement dangereux, c'est qu'on l'étudiait surtout au point de vue des risques dans le milieu professionnel. Effectivement, le plutonium est un radioélément très dangereux par inhalation; il n'en est pas de même pour les voies de transfert différentes. C'est un radioélément qui se transfère mal, si je puis m'exprimer ainsi, entre le milieu et les végétaux et donc chez l'homme.»

M. BARBREAU : « Monsieur le Président, je voudrais demander à M. Van de Voorde des précisions sur les essais par immersion en mer. »

M. VAN DE VOORDE : « Il s'agissait surtout d'essais d'éluion de boues bitumisées dans l'eau de mer pendant plusieurs mois. »

M. BARBREAU : « Nous avons fait nous aussi des essais à grandes profondeurs avec des fûts en Méditerranée. Ces essais à une profondeur de 2 500 m portaient sur le comportement des fûts en fonction du temps et d'études des courants. La difficulté rencontrée a été le repérage des fûts; nous avons mis une bouée flottante avec un câble qui, par erreur, a été enlevé par un bateau de passage. Lors de vos essais à grande profondeur, avez-vous obtenu des résultats? »

M. VAN DE VOORDE : « Dans les essais de ce genre, c'est-à-dire essais d'éluion sous haute pression, nous avons atteint environ 50 atmosphères. Après l'essai nous avons trouvé notre échantillon complètement désintégré. »

M. PRADEL : « J'aimerais revenir sur la question de l'opinion publique. M. Branca nous a dit que la seule possibilité pour créer un site de stockage ou cimetièrre était l'utilisation du centre même. Je pense que nous avons progressé, car nous pouvons actuellement créer un site à proximité d'un centre et amener sur ce site des déchets provenant d'un autre centre. Il y a eu ainsi une étape de franchie, ensuite la seconde étape a été le stockage de fûts de déchets à la surface d'une mine dont l'exploitation avait été abandonnée. Nous avons progressé vis-à-vis de l'opinion publique, sans soulever de difficultés. Nous pouvons espérer, dans ce domaine, obtenir un progrès et arriver progressivement à ce genre de stockage. Je pense qu'une voie d'approche pour l'implantation d'un cimetièrre pourrait être la suivante : dans de nombreux pays, en particulier chez nous, il existe des cimetièrres qui sont utilisés pour des produits toxiques non radio-

actifs; je me demande dans quelle mesure on pourrait y inclure des déchets radioactifs qui se trouveraient ainsi mélangés à d'autres toxiques. Ce serait une méthode d'approche pour implanter des cimetières dans les zones où on a l'intention d'en créer.»

M. SOUSSELIER : « Je crois votre remarque très intéressante; en effet, à partir du moment où on est confronté avec un problème, il y a intérêt à envisager plusieurs voies d'approche afin de trouver celles qui se révéleront les plus profitables. »

M. CANTILLON : « Monsieur le Président, je pense qu'au stade actuel des discussions et commentaires il y a deux tendances ou tout au moins 2 groupes de pays qui se différencient. Il y a les pays de dimensions assez réduites comme la Belgique, qui ont des particularités géologiques et hydrographiques bien déterminées. Je crois que dans ce domaine nos caractéristiques nationales se rapprochent de celles des Pays-Bas. Nous n'avons pas les possibilités de surface des autres pays, plus grands, qui ont des vastes péninsules entourées de 3 côtés par les océans.

Évidemment, à la première constatation, il semblerait ne pas y avoir de solution globale; à moins que, dans un esprit communautaire, les pays favorisés ne soient disposés, moyennant certaines conditions, par exemple les caractéristiques des fûts, à bien vouloir entreposer chez eux ce qui ne peut l'être dans nos pays. Ceci dépasse le cadre de cette réunion, mais comme déjà signalé par M. Van de Voorde, nous sommes pratiquement obligés d'évoluer dans le sens de la technique et d'utiliser les mines abandonnées. Nous devons donc au stade actuel envisager dans la mesure du possible des rejets directement à la mer. »

M. SOUSSELIER : « Je crois que vous avez tout à fait raison, le problème ne se pose pas de la même façon suivant les pays, la nature géologique des sols et d'autres conditions. Vous avez évoqué la question de savoir si on pourrait envisager que, dans certains centres de certains pays de la Communauté, on puisse envoyer des déchets en provenance d'autres pays. Dans le fond, c'est un des aspects des problèmes de l'opinion publique vis-à-vis desquels nous sommes confrontés personnellement. Je pense que c'est une solution qu'il faudrait envisager. Il est évident qu'il faut probablement régler d'abord les difficultés vis-à-vis de l'opinion publique sur le plan national et envisager ensuite de l'étendre à d'autres pays de la Communauté. Il est certain que si du jour au lendemain on acceptait, dans les sites de stockages existants, des déchets en provenance d'autres pays, nous aurions des difficultés, mais je crois que la situation pourra quand même évoluer assez rapidement, évolution des esprits en matière



de collaboration européenne ou simplement en matière de différence de nationalité entre les différents pays membres de la Communauté. Si nous nous reportons en arrière de 30 à 35 ans, il existait certes des réunions scientifiques entre savants envisageant certaines collaborations. Dans le monde scientifique, cela existait de tout temps; je crois que cela ne dépassait guère les aspects scientifiques et que même, simplement d'envisager des questions techniques ou pratiques, sur le plan international, pour l'élimination des déchets était impensable. Il est certain qu'à partir du moment où dans un site donné on admet des déchets radioactifs en provenance, non pas du site lui-même, mais d'autres régions du même pays, le stockage de déchets d'autres pays de la Communauté peut être envisagé. Il me semble que dans le domaine de l'opinion publique, il ne faut pas vouloir aller trop vite et brûler les étapes, sinon l'on risque de prendre des positions sur lesquelles il serait difficile de revenir. Convaincre le public par toutes les méthodes de l'information nous permettra d'obtenir dans un proche avenir ce résultat.

Pour les déchets de plutonium, il n'est peut-être pas fondamentalement différent de les stocker dans le sol avec des possibilités de lixiviation vers l'océan, ou de les y rejeter directement. Naturellement, dans le cas du stockage dans le sol, nous avons une garantie supplémentaire, mais dans beaucoup de cas, pour tous les radionucléides dont les périodes sont relativement courtes, la décroissance se produira avant qu'il y ait transfert vers l'océan. La capacité du milieu — océan — est considérable, néanmoins ce moyen de rejet est coûteux et pose des problèmes délicats. D'ailleurs, vous avez vu les difficultés rencontrées par l'ENEA avec les pays riverains, car à partir du moment où l'on rejette dans l'océan, bien qu'il appartienne à tous, ces pays estiment avoir un droit de regard. Voici la raison pour souhaiter, je dirais nécessaire, la collaboration internationale pour le règlement de ces problèmes. »

M. KRAUSE : « La société Infratome est-elle privée? Quelles sont les lois françaises à ce sujet? »

M. SOUSSELIER : « Du point de vue juridique, la société Infratome est privée, mais complètement contrôlée par le CEA. Les terrains sur lesquels est situé le stockage Infratome appartiennent au CEA et, bien qu'il soit responsable de la sécurité nucléaire, cela ne veut pas dire qu'il y ait en France une loi qui définit que ces terrains, dans lesquels sont stockés les déchets radioactifs, soient d'organisme public. Il y en a France une législation des installations nucléaires de base; toute installation d'un centre de déchets ou installation nucléaire est soumise à des prescriptions très strictes, autorisées par cette loi. Le centre de stockage Infratome a été

examiné par la Commission des installations nucléaires de base qui en a défini les modalités.»

M. BERLIN : « Je voudrais apporter une précision sur l'opinion publique pour un pays limitrophe des Communautés européennes, la Suisse. La semaine dernière, le Grand Conseil de Bâle a demandé au canton d'Argovie de surseoir à un permis de construction d'une centrale nucléaire, car les garanties de sécurité pour la population n'étaient pas suffisantes d'après l'opinion du canton voisin. Cette année étant l'année de la protection de la nature en Europe, où plusieurs expositions traiteront les problèmes de pollution, il y aura certainement un fléchissement de l'opinion publique à notre égard.»

M. SOUSSELIER : « Vous avez raison, Monsieur Berlin, il est fort possible que nous ayons des réactions analogues dans certains pays de la Communauté. D'ailleurs, dans l'État de Californie, il y a une loi qui interdit l'implantation de centrales thermiques chauffées au charbon ou au fuel. L'opinion publique est, a priori, méfiante envers l'énergie nucléaire; nous devons tous faire un effort dans ce domaine.»

\*  
\* \*

**III — CARACTÉRISATION DES INTERACTIONS  
DES DÉCHETS RADIOACTIFS  
AVEC LE MILIEU ENVIRONNANT**

*Président :*

J. Smeets (CCE, Luxembourg)



# **Interazioni fra l'ambiente ed i rifiuti solidi radioattivi sottoposti ad una eliminazione terrestre**

G. Branca (Italia)

## **1 — INTRODUZIONE**

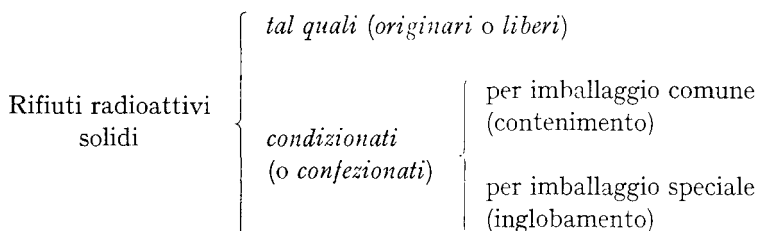
Quando dei rifiuti radioattivi solidi da smaltire vengono sottoposti ad un deposito o ad uno scarico terrestre si verificano, o possono verificarsi, una serie di fenomeni, di tipo fisico, chimico, ed anche biologico, dipendenti ovviamente tanto dalle caratteristiche del sito quanto da quelle dei rifiuti, capaci di liberare, in tutto o in parte, la contaminazione associata a questi ultimi. Ora, è molto importante, dal punto di vista della protezione sanitaria, poter prevedere, sia pure con un ragionevole margine di incertezza, il comportamento di rifiuti aventi determinate caratteristiche, in una data situazione ambientale e, in particolare, la irradiazione che ne può conseguire all'uomo.

Nel presente rapporto si prenderanno appunto, brevemente in considerazione i processi mediante i quali l'ambiente può esercitare la sua azione, prima sui rifiuti in sé, degradandoli e liberandone i radionuclidi ad essi associati, poi sugli stessi radionuclidi determinandone il successivo iter nel tempo e nello spazio.

Premettiamo alcune definizioni, per precisare la terminologia di cui si farà, nel seguito, uso.

Diciamo *tal quali* (oppure *originari* o *liberi*) i rifiuti solidi radioattivi nello stesso stato morfologico in cui essi sono stati prodotti, e *condizionati* (o *confezionati*) i rifiuti sottoposti ad una qualsiasi manipolazione intesa a proteggere i rifiuti dagli agenti naturali e, reciprocamente, a preservare l'ambiente esterno dalla contaminazione radioattiva. A sua volta il condizionamento (o confezionamento) può consistere in un semplice *imballaggio*

dei rifiuti entro contenitori (fusti), sacchi, ecc.) oppure in un loro *inglobamento* entro materiali inerti, come risulta dal seguente schema (1) :



Chiameremo poi *materiale di supporto* il materiale di cui sono costituiti i rifiuti e che costituiscono appunto, il supporto della contaminazione, *materiale di contenimento* il materiale di cui sono costituiti gli involucri e *materiale di inglobamento* la matrice entro cui vengono ad essere inglobati i rifiuti sottoposti ad imballaggio speciale, il tutto secondo lo schema.

Funzione del materiale	Principali esempi
Supporto	Metalli, vetri, prodotti ceramici, malte e calcestruzzi, legnami, carta, tessuti, caucciù, materie plastiche, vernici, ecc.
Contenimento	Metalli, calcestruzzi, materie plastiche.
Inglobamento	Malte e calcestruzzi, asfalti, bitumi, vetri, prodotti ceramici.

Circa i modi di eliminazione dei rifiuti nell'ambiente terrestre, in questo campo, come si sa, le possibilità sono molteplici; tuttavia, ai fini anche di uno studio sistematico delle interazioni con l'ambiente, i vari metodi possono venire così schematizzati :

Deposito sul suolo	all'aperto. entro speciali costruzioni (tettoie, capannoni, ecc )
Deposito o scarico nel sottosuolo	a contatto del suolo (seppellimento, infossamento) entro cavità naturali o artificiali (caverne, gallerie, bunker, pozzi, miniere ecc.)

Distingueremo infine le azioni dell'ambiente sui rifiuti in *dirette* e *indirette* : intendendo per dirette quelle che si esplicano sulle stesse sostanze

(1) La definizione data di condizionamento non comprende le operazioni di pressatura, incenerimento ecc., che sono rivolte ad ottenere soltanto una riduzione di volume dei rifiuti, e che quindi precedono eventualmente il confezionamento vero e proprio.

radioattive (risospensione, eluizione, ecc.) e per indirette quelle che si esercitano invece sul materiale che costituisce, secondo i casi, il supporto, l'involucro o la matrice.

È quindi evidente, in base a tale definizione, che nel caso dei rifiuti liberi o condizionati per inglobamento, le azioni dirette e quelle indirette possono aver luogo contemporaneamente, mentre nel caso dei rifiuti condizionati per contenimento, le azioni indirette prima precedono poi eventualmente accompagnano quelle dirette.

## **2 — AZIONE DELL'AMBIENTE SULLA CONTAMINAZIONE ASSOCIATA AI RIFIUTI (AZIONE DIRETTA)**

### **2.1 — Rifiuti in forma libera**

L'allontanamento dal materiale di supporto delle sostanze radioattive che sono responsabili della contaminazione può avvenire per varie cause naturali in misura dipendente dalle caratteristiche delle superfici contaminate e dalla natura delle sostanze in gioco.

Se i rifiuti sono depositati sul suolo, si può avere una risospensione in aria delle sostanze radioattive per perturbazioni indotte sulla contaminazione soprattutto in conseguenza di movimenti d'aria (*venti*) o di altre vibrazioni. È importante notare che anche le condizioni di temperatura e di umidità possono influire sul fenomeno. In particolare l'umidità, in relazione alla varia igroscopicità dei materiali, può modificare le condizioni di aderenza della contaminazione alla superficie, oltre a dar luogo a fenomeni di coesione tra le particelle, creando agglomerati la cui granulometria è maggiore di quella originaria, così da contrastare la ridispersione in aria.

Un altro agente naturale capace di allontanare le sostanze radioattive dal supporto è l'acqua, sia essa piovana che superficiale o sotterranea. La possibile azione dell'acqua può agevolmente interpretarsi se si tiene conto del meccanismo secondo il quale le sostanze radioattive vengono ritenute sui vari corpi. Tale meccanismo può essere di varia natura: si può avere un'aderenza meccanica di particelle radioattive al materiale di supporto (caso della contaminazione in forma solida) oppure dovuta a forze di natura elettrostatica o infine una contaminazione legata alla attività di scambio del materiale di supporto stesso.

Se le superfici sono molto lisce (grès, porcellane, vetri) le forze capaci di trattenere la contaminazione sono in genere deboli ed anche le reazioni di scambio ionico sono modeste. Le acque naturali riescono perciò abbastanza facilmente, in questo caso, a dilavare o ad eluire i radionuclidi.

Se il materiale che costituisce il supporto è invece poroso (calcestruzzi, laterizi, terrecotte, terraglie, maioliche, legnami) la contaminazione può esservi penetrata tanto profondamente da essere, in pratica, rimovibile con difficoltà da parte delle acque naturali, tanto più se i legami sono dovuti a reazioni di scambio (caso di radionuclidi in forma cationica).

Anche nel caso di alcune materie plastiche e di certe vernici, dato il ruolo svolto dai gruppi carbossilici ed idrossilici ai fini dello scambio ionico, le acque naturali non sono molto efficaci ai fini della rimozione della radioattività, a meno che esse non siano acide o presentino una elevata concentrazione di ioni  $\text{Na}^+$ .

Per le sostanze tessili, la carta, ecc. la contaminazione è dovuta oltre che alle attività di scambio della cellulosa, anche alle proprietà di tali fibre di essere idrofile, di comportarsi cioè come spugne a fori capillari. Una soluzione radioattiva che sia venuta a contatto con tali materiali ne viene assorbita; la successiva evaporazione lascia poi dei macrocristalli aderenti alle fibre. Questo secondo tipo di contaminazione viene facilmente rimosso da parte delle acque naturali, che invece sono come già si è detto, scarsamente efficaci nell'eluire la contaminazione fissata per scambio ionico.

## **2.2 — Rifiuti condizionati**

Si considera solo il caso dei rifiuti sottoposti ad un imballaggio speciale (inglobamento) poiché, per quelli sottoposti invece ad imballaggio semplice (contenimento) è escluso, per definizione, il contatto fra l'ambiente esterno ed i rifiuti veri e propri, almeno finché è assicurata l'integrità del contenitore.

L'unica causa naturale capace di allontanare da una matrice i radioisotopi in essa dispersi è costituita dalle acque correnti: il meccanismo sembra essere in ogni caso sostanzialmente quello della eluizione dei radionuclidi legati agli strati più esterni e della successiva diffusione verso la superficie di altri nuclidi più interni.

## **3 — AZIONE DELL'AMBIENTE SUI MATERIALI DI SUPPORTO O DI CONDIZIONAMENTO DEI RIFIUTI (AZIONE INDIRECTA)**

### **3.1 — Premessa**

Questa azione si esercita sui materiali che costituiscono il supporto e, nel caso dei rifiuti confezionati, anche su quelli che costituiscono l'involucro o la matrice. Gli agenti naturali possono cioè modificare le caratteristiche



di tali materiali indebolendo o distruggendo dei legami o dei vincoli di natura chimica o meccanica ed esponendo di conseguenza le sostanze radioattive a quella azione diretta di cui si è parlato nel paragrafo precedente.

Alcune di queste forze sono di tipo endogeno (terremoti, fenomeni vulcanici, ecc.) ma esse non verranno qui prese in considerazione perché si dà per scontato che nel prescegliere il sito per il deposito o per lo scarico dei rifiuti si siano escluse tutte le zone sedi, anche solo potenziali, di fenomeni del tipo suddetto.

La maggior parte delle forze responsabili dei processi di alterazione o di disgregazione appartengono di conseguenza alla categoria degli agenti esogeni.

Una roccia che affiora alla superficie del suolo, come è noto, si trova soggetta a disgregarsi per il gioco di vari fattori. Lo sbalzo giornaliero della temperatura, che produce dilatazioni e contrazioni alternate, favorisce la fissurazione e il distacco di schegge. Frammenti di roccia già staccati e mulinati dall'acqua o dal vento esercitano a loro volta una azione abrasiva. L'ossigeno e l'anidride carbonica dell'atmosfera, quando agiscono in presenza di acqua, attaccano chimicamente alcuni componenti delle rocce e così via.

L'aria umida e l'acqua ricca di ossigeno sono fra i principali agenti della degradazione meteorica, anche nella zona di aerazione nella crosta terrestre, specialmente perché le acque sotterranee non sono mai chimicamente pure.

A loro volta le acque correnti, tanto superficiali quanto sotterranee, esplicano una azione meccanica erosiva nonché una dissoluzione di certi sali come cloruri, solfati, ma, in certe condizioni anche dei calcari e perfino dei silicati. Anche organismi vegetali ed animali contribuiscono, talvolta in misura preponderante, alla degradazione delle rocce.

Tutti questi processi naturali, qui solo sommariamente ricordati, possono dunque agire anche sui rifiuti solidi radioattivi, l'alterazione dei quali non è in definitiva altro che una trasformazione o una serie di trasformazioni per cui i vari costituenti dei rifiuti stessi tendono a mettersi in equilibrio con l'ambiente che per essi è nuovo, l'ambiente dell'atmosfera e delle acque superficiali.

Le cause capaci di provocare alterazioni e degradazioni dei materiali che costituiscono, secondo i casi, il supporto, l'involucro o la matrice dei r.r.s., nonché le relative conseguenze verranno ora passati brevemente in rassegna. I materiali verranno distinti in metallici e non metallici. Si tratterà più dettagliatamente il caso dei metalli e delle malte e calcestruzzi, dato l'uso frequente che di essi si fa come materiali di contenimento.

### 3.2 — Materiali metallici

Le superfici di corpi metallici, posti in un certo ambiente naturale, possono andare incontro ad alterazioni dovute ad *erosione e/o corrosione*. L'erosione è di natura meccanica ed è dovuta all'azione abrasiva dei venti e dei materiali che questi trasportano, principalmente granuli di quarzo. Questa azione di smeriglio è sensibile soprattutto in vicinanza del suolo poiché il carico trasportato dal vento diminuisce al di sopra di una certa altezza, dell'ordine di 1 o 2 metri. Anche le acque possono esplicare un'azione erosiva di abrasione, dovuta al materiale solido trasportato (frammenti di rocce, particelle di sabbia).

La corrosione è invece principalmente conseguenza di una reazione di tipo elettrochimico che avviene tra il metallo e l'ambiente. Nel caso che qui interessa, il metallo si può trovare a contatto con acque superficiali o sotterranee oppure esposto all'aria e quindi, in generale, in un ambiente più o meno umido; in tale ipotesi la corrosione è dovuta essenzialmente alla formazione inevitabile di aree anodiche e catodiche sulla superficie del metallo. Si creano così una serie di correnti elettrolitiche per effetto delle quali gli ioni metallici vanno in soluzione nell'acqua e danno poi luogo a formazione di idrati, mentre sulle aree catodiche si svolge idrogeno. Se non vi fosse ossigeno nell'acqua, il formarsi di uno strato di idrogeno sulle aree catodiche arresterebbe il fenomeno, cioè depolarizzerebbe le pile elementari che si sono formate. La presenza dell'ossigeno vale a rimuovere l'idrogeno con cui si combina, sicché il processo continua. Ma l'ossigeno ha anche un altro importante effetto, in quanto, fissandosi irregolarmente sulle superfici metalliche crea la cosiddetta aerazione differenziale, che vale a porre in condizioni diverse aree contigue del metallo, a creare cioè quella disuniformità delle condizioni superficiali del metallo che sono la causa prima del formarsi delle aree anodiche e catodiche. Per effetto dell'aerazione differenziale anche metalli perfettamente omogenei sono soggetti al fenomeno della corrosione. Tutti questi fenomeni sono poi influenzati dalla concentrazione idrogenionica dell'acqua, nel senso che più l'acqua è acida più intensi sono i fenomeni di corrosione, i quali invece non si presentano quasi mai con acque sufficientemente basiche. L'acidità delle acque naturali e specialmente di quelle di pioggia, è prevalentemente in rapporto con il contenuto di anidride carbonica libera. Ecco perché, dopo l'ossigeno, la presenza dell'anidride carbonica segue immediatamente in importanza.

Fattori di minore entità sono: la velocità dell'acqua, in quanto tende ad asportare meccanicamente l'idrogeno che si forma sulle aree catodiche e la purezza del metallo, che però, come si è detto, non vale ad impedire alla lunga la corrosione per differenza di aerazione.

Accanto alla corrosione di origine elettrochimica vi è poi anche una corrosione di natura puramente chimica che in qualche caso può rivestire un interesse quantitativo non trascurabile, per esempio quando i corpi metallici siano interrati in un suolo particolarmente ricco di acidi.

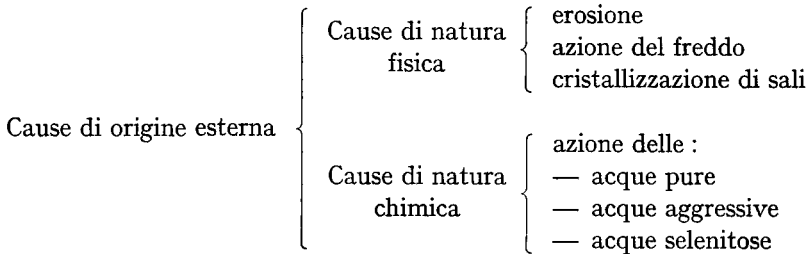
Minore importanza presenta infine la corrosione dovuta ai microrganismi aerobi (ferrobatteri e solfobatteri) ed anaerobi, corrosione che viene qui ricordata solo per completezza di informazione.

### 3.3 — Materiali non metallici

#### 3.3.1 — Malte e calcestruzzi cementizi <sup>(1)</sup>

Le malte, e per conseguenza i calcestruzzi, possono venire alterate e anche completamente disgregate per cause dovute allo stesso legante (cementi espansivi) e che non interessano quindi in questa sede, oppure per cause esterne di natura fisica, chimica o biologica, il tutto secondo lo schema.

Cause di origine interna (cementi espansivi)



Esaminiamo ora in dettaglio il meccanismo secondo cui si esercita l'influenza degli agenti esterni.

*Erosione.* Anche qui come per i metalli può aversi un'erosione eolica oppure un'erosione idraulica; in entrambi i casi l'azione abrasiva è esaltata dalla presenza, nel fluido, di particelle solide di elevata durezza.

*Azione del freddo.* L'abbassamento di temperatura produce la solidificazione dell'acqua nell'interno del conglomerato, quindi espansione e rottura. La resistenza al gelo (gelività) è in relazione con la porosità della malta

---

<sup>(1)</sup> Come è noto per *malta cementizia* si intende un impasto di cemento, sabbia ed acqua, e per *calcestruzzo cementizio* un conglomerato composto da malta (come sopra definita) e pietrisco.

e del calcestruzzo, porosità che dipende a sua volta dal dosaggio dei componenti e dalla esecuzione dell'impasto, nonché dalla natura e dalla qualità del cemento. Evidentemente questa causa di disgregazione può essere notevole nei paesi freddi.

*Disgregazioni dovute a cristallizzazione di sali.* Se i blocchi di conglomerato sono parzialmente immersi in acque ad elevato contenuto salino si possono generare in essi tensioni meccaniche dovute alla cristallizzazione dei sali che penetrano per capillarità nei pori del calcestruzzo e vi si concentrano per evaporazione all'aria. Le tensioni così sviluppate possono essere considerevoli e portare alla distruzione dei materiali, se essi presentano una certa porosità. Nei luoghi caldi, dove l'evaporazione avviene più facilmente, ed il suolo contiene sali alcalini e solfato di calcio, questo fenomeno assume una grande importanza. Il fenomeno è anche notevole per quei blocchi soggetti ad alternative di emersione ed immersione.

*Azione delle acque pure.* Le acque estremamente pure e povere di anidride carbonica hanno azione disgregante sui calcestruzzi poiché ne asportano la calce eventualmente ancora libera, con conseguente progressivo aumento della porosità dei conglomerati sottoposti al dilavamento. Questa azione è particolarmente efficace nei confronti dei cementi Portland. Al contrario i cementi alluminosi, caratterizzati come è noto dal fatto che la loro presa si effettua liberando allumina, invece di calce, resistono bene all'azione delle acque pure. Anche il cemento pozzolanico ed il cemento d'altoforno, che sono cementi poveri di calce, si comportano in generale meglio del cemento idraulico normale. Con l'acqua comune, invece, il fenomeno dell'alterazione del cemento Portland non si verifica perché l'anidride carbonica ed i bicarbonati alcalino-ferrosi in essa contenuti trasformano la calce libera in carbonato rendendo la malta impermeabile e quindi più compatta la struttura.

*Acque aggressive.* Quanto precede è relativo al caso in cui nel cemento vi sia della calce libera. Se però il cemento del manufatto ha completato la sua presa o comunque appena la calce libera si è combinata, l'azione dell'anidride carbonica contenuta nell'acqua con cui il conglomerato viene in contatto è quella di combinarsi con il carbonato di calcio, formando bicarbonati solubili. L'esperienza ha anzi dimostrato in molti casi concreti che non solo il carbonato è attaccato dall'anidride aggressiva, ma anche il silicato di calcio. Questa azione anzi rappresenta il pericolo più grave in quanto attacca la parte più resistente dell'agglomerante. I cementi pozzolanici, ad alto tenore di silice, sono quelli che resistono meglio all'azione delle acque aggressive: non si tratta però comunque di una resistenza assoluta. Le acque superficiali con scarsa salinità sono per lo più aggressive perché la  $CO_2$  disciolta dall'acqua di pioggia durante la caduta e nel passaggio

attraverso il terreno non ha avuto la possibilità di neutralizzarsi nei rispetti del carbonato per la breve durata del contatto o per la mancanza o per la scarsità di carbonati nelle zone di terre percorse.

*Azione delle acque selenitose.* L'azione dei solfati è molto controversa. Nel caso del cemento Portland si ammette in generale che il solfato di calcio presente nell'acqua, reagendo con il cemento indurito, ne attacca l'alluminato tetralcico che è allo stato di sale solido, dando un sale di notevole volume apparente, il solfo-alluminato di calcio, e provocando disgregazione del cemento. (Tale solfo-alluminato è stato detto bacillo del cemento Portland).

Nel cemento alluminoso, nel quale l'alluminato bicalcico dà allumina in soluzione, il solfo-alluminato si forma invece a partire dal sale disciolto e non dà rigonfiamenti. I cementi pozzolanico e di altoforno si comportano come l'alluminoso. In particolare il cemento pozzolanico resiste molto bene, prima della formazione del solfo-alluminato di calcio, la calce liberata dalla presa ha potuto combinarsi con la pozzolana e la soluzione si è impoverita di calcio in proporzioni tali che l'alluminato tetracalcico si trasforma in alluminato bicalcico.

Quanto al solfato di magnesio la sua azione sembra dovuta al fatto che esso reagisce con la calce sia libera che di idrolisi, formando solfato di calcio con messa in libertà di MgO. Il solfato di calcio formatosi dà poi luogo a sua volta agli inconvenienti di cui sopra, specialmente come si è detto nei confronti del cemento Portland. Quale che sia il meccanismo dei solfati, può in generale affermarsi su basi sperimentali che i cementi ad alta basicità danno facilmente origine al solfo-alluminato espansivo e quindi sono poco resistenti alle acque selenitose.

### 3.3.2 — *Legno, carta, tessuti (a fibre naturali)*

In generale queste sostanze possono subire tante e tali alterazioni da parte di agenti naturali da degradarsi estesamente anche in breve tempo. È noto ad esempio che i legnami possono marcire per fermentazione delle sostanze albuminoidi o per opera di batteri e funghi, tarlarsi per opera di insetti roditori, e possono subire processi di ossidazione ed idrolisi per cui si sgretolano facilmente. L'ossidazione, in particolare, trasformando la cellulosa in ossicellulosa, che è una sostanza fragile praticamente incoerente, viene a distruggere la struttura stessa del legno. Naturalmente è anche possibile sottoporre il legno a processi atti a garantire la sua conservazione nel tempo, verniciatura, catramatura, impregnazione con soluzioni anti-settiche, ecc., ma questi trattamenti non interessano in questa sede poiché il legno viene raramente adoperato come materiale per la confezione di

rifiuti radioattivi, cioè per costruire contenitori di tali rifiuti: esso può, invece, talvolta, costituire il supporto della contaminazione (rottami di legno, pannelli di agglomerati lignei contaminati).

Più frequente è il caso di rifiuti formati da carta o tessuti di fibre naturali e contaminati. Anche queste sostanze, costituite essenzialmente da cellulosa, vengono facilmente attaccate e decomposte da agenti fisici, chimici e biologici.

### 3.3.3 — *Asfalti e bitumi*

I bitumi adoperati per inglobare i rifiuti radioattivi sono per lo più prodotti commerciali stabilizzati. Essi sono quasi completamente insolubili in acqua e praticamente inerti nei confronti degli ordinari agenti chimici esistenti in natura. I bitumi non sono fragili a bassa temperatura nè soggetti a rammollirsi con moderate elevazioni termiche. Essi resistono quindi bene in adatte condizioni ambientali. Per temperature superiori o inferiori a certi valori che, pur infrequenti, non sono impossibili in particolari siti, i bitumi tendono però a rammollirsi o, rispettivamente, a perdere l'elasticità divenendo fragili.

### 3.3.4 — *Materie plastiche*

In senso lato vengono dette materie plastiche tutte le resine sintetiche. In generale tutte queste materie sono resistenti all'abrasione ed alla corrosione in un vastissimo campo di sostanze chimiche e quindi particolarmente resistenti alla corrosione chimica operata dagli ordinari agenti ambientali. Le materie plastiche peraltro nelle composizioni correnti rammolliscono per temperature superiori ai 60-70 °C e diventano fragili a temperature intorno ai -40 °C. Alcune materie plastiche, per effetto degli agenti atmosferici, «invecchiano» a causa soprattutto di processi di depolimerizzazione che ne alterano profondamente le caratteristiche meccaniche.

### 3.3.5 — *Prodotti ceramici*

I prodotti ceramici si suddividono in due grandi categorie: prodotti a *pasta porosa* (laterizi, terrecotte, terraglie, maioliche) e prodotti a *pasta compatta* (grès, porcellana), rispettivamente permeabili ed impermeabili ai fluidi.

I primi possono essere vulnerabili alla azione del gelo e come nel caso delle malte e dei calcestruzzi anche qui per abbassamenti notevoli di temperatura l'acqua che si trova nell'interno congela provocando uno

stato tensionale capace a sua volta di causare fratture e sbriciolamenti. Tutti i prodotti ceramici presentano invece, in linea di massima, una buona resistenza chimica, soprattutto verso gli acidi.

### 3.3.6 — *Vetri*

I vetri presentano in genere una buona resistenza all'erosione ed alla corrosione, soprattutto nei confronti dell'acqua. Tuttavia alcuni dei suoi costituenti, e precisamente gli alcali, posseggono una leggerissima solubilità. Se il vetro viene adoperato come materiale di matrice di radionuclidi la dissoluzione mette in libertà una frazione sia pur piccola della contaminazione inglobata ed inoltre produce un aumento nella superficie totale e quindi, in ipotesi, una esaltazione dei fenomeni di eluizione di cui si è già parlato, benché su questo punto manchino ancora dati sperimentali definitivi.

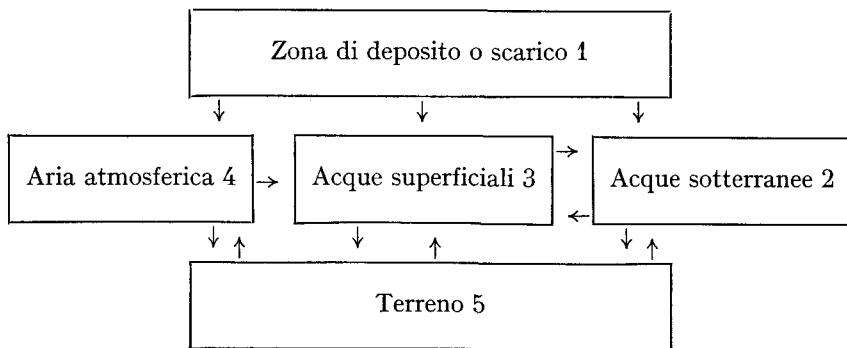
## **4 — DISPERSIONE NELL'AMBIENTE NATURALE DEI RADIONUCLIDI PROVENIENTI DAI RIFIUTI SOLIDI**

Una volta che i radionuclidi responsabili della contaminazione dei rifiuti solidi siano stati distaccati dal materiale di supporto o da quello di matrice, e ciò, come si è visto, principalmente a causa della degradazione meteorica e delle acque correnti, essi entrano individualmente nell'ambiente trovandovi un destino legato ai molti fattori ed ai vari e complessi fenomeni che determinano appunto l'iter di un elemento nell'ambiente naturale.

Questi fenomeni sono stati e sono oggetto di numerose ricerche ed osservazioni, per cui la letteratura contiene un volume notevole di risultati sperimentali in tale campo.

In questa sede si prende in considerazione la possibilità di inquadrare l'insieme dei fenomeni che hanno luogo in natura in un modello globale che si presti anche ad essere eventualmente trattato con metodi matematici appropriati. Questo tipo di approccio può risultare molto utile dal punto di vista della protezione sanitaria nella misura in cui siano noti quantitativamente i vari processi di trasferimento dei radionuclidi dall'uno all'altro dei vari componenti dell'ambiente.

Il modello che qui si propone, come quello che meglio si adatta a fornire un quadro generale della distribuzione ambientale e della contaminazione radioattiva, è riportato nella figura seguente.



Esso comprende, come si vede, un certo numero di compartimenti principali.

Il modello proposto ha un carattere sufficientemente estensivo tale cioè da coprire la maggior parte dei casi realmente possibili. In pratica, il modello si semplifica se manca qualcuno dei compartimenti presi in considerazione o se il ruolo che esso svolge è trascurabile di fronte a quello degli altri. Per esempio, nel caso limite ideale in cui non si verifica alcuna fuga di contaminazione della zona prescelta per il deposito o per lo scarico, perché questa è completamente impermeabile, il modello si ridurrà al solo primo compartimento, e cioè si avrà quello che si chiama sistema chiuso (cfr. appendice, 1° caso).

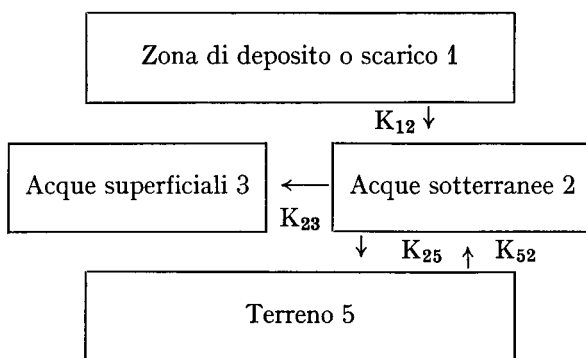
Potrà tuttavia verificarsi, talvolta, anche il caso opposto, e cioè che sia necessario estendere lo studio a particolari fenomeni di trasferimento: in tal caso si imposteranno uno o più modelli complementari « ad hoc ».

I parametri più importanti che caratterizzano il modello sono le *costanti di eliminazione (di rinnovamento)* di ciascun compartimento e le *costanti di trasferimento* da un compartimento all'altro (1).

Per esempio, nel caso in cui i rifiuti vengano seppelliti o messi comunque nel sottosuolo ad una profondità sufficiente ed in tali condizioni da poter trascurare il contributo dell'aria atmosferica ai fenomeni di cui trattasi, il modello si semplifica nel modo qui di seguito indicato.

(1) Si definisce costante di eliminazione  $k_i$  del compartimento  $i$  la frazione della quantità di sostanza radioattiva ivi contenuta che abbandona il compartimento nell'unità di tempo. Se la sostanza eliminata dal compartimento  $i$  entra nel compartimento  $j$  si parla invece di *costante di trasferimento*  $k_{ij}$ . Evidentemente, se tutta la sostanza dimessa da  $i$  penetra in  $j$  sarà  $k_{ij} = k_i$ ; in caso contrario  $k_{ij} < k_i$ .





In questo caso le varie costanti di trasferimento dipendono :

- $K_{12}$  : dai fenomeni di erosione e di corrosione operati dalle acque sotterranee che lambiscono i rifiuti e dai microrganismi nei confronti dei materiali di supporto, di contenimento e di inglobamento, nonché dai processi di asportazione della contaminazione, processi che vengono genericamente compresi sotto il nome di dilavamento ma che possono esser di varia natura, come si è detto in precedenza (eluizione, dissoluzione, ecc.).
- $K_{23}$  : dai fenomeni di fuoriuscita a giorno dal sottosuolo, per cause naturali, di acqua appartenente a falda idrica.
- $K_{25}$  : dai fenomeni di adsorbimento, scambio ionico, reazioni chimiche, coprecipitazione, ecc., che avvengono tra i radionuclidi ed i terreni attraversati per percolazione (nelle zone di evaporazione e di aerazione) e per circolazione (a partire dalla zona di saturazione). In letteratura tutto questo complesso di fenomeni viene indicato con il nome generico di diffusione <sup>(1)</sup>.
- $K_{52}$  : dai fenomeni di dilavamento (eluizione, desadsorbimento, ecc.), che le acque sotterranee operano nei confronti dei terreni sui quali si sia in precedenza fissata la contaminazione.
- $K_1$  : dagli stessi fenomeni connessi con la costante di trasferimento  $K_{12}$ .
- $K_2$  : dagli stessi fenomeni connessi con le costanti di trasferimento  $K_{25}$  e  $K_{23}$ , dalla dispersione e dal trasporto idrodinamico dei radionuclidi da parte delle acque sotterranee percolanti (zone di evaporazione e di aerazione) o circolanti (a partire dalla zona di saturazione).
- $K_5$  : dagli stessi fenomeni da cui dipende la costante di trasferimento  $K_{52}$ .

<sup>(1)</sup> La presenza di questi fenomeni, come è ben noto, fa sì che la « velocità » di migrazione dei radionuclidi è in generale solo una frazione della velocità convettiva dell'acqua.

Una volta impostato il modello, si può tentare di risolverlo con un opportuno procedimento matematico; molto adatta sembra ad esempio la teoria dei compartimenti. Questa permette di calcolare la concentrazione di radioattività che si ha nei vari compartimenti, tanto in condizioni transitorie che in condizioni di equilibrio, sempre che si conoscano i valori dei vari parametri in gioco o che si possano fare su di essi delle ipotesi ragionevoli. Si è già accennato, al grado di conoscenza quantitativa dei processi che collegano i diversi compartimenti del sistema e si può certamente prevedere che in futuro l'insieme delle esperienze e delle osservazioni consentirà una valutazione sempre più oggettiva del problema, diminuendo l'incertezza collegata con le supposizioni teoriche.

Evidentemente nell'esempio preso in considerazione, l'uomo può — in ipotesi — ricevere, dalla zona di deposito o di scarico, soltanto irradiazioni esterne.

I rischi associati alle acque sotterranee, ad acque superficiali ed al terreno, se questo è prossimo alla superficie, possono derivare invece tanto da una irradiazione esterna, quanto da una irradiazione interna legata, nel caso dell'acqua, all'uso (attuale o potenziale) di essa per scopi potabili e/o per scopi irrigui, e nel caso del suolo, al consumo, anche questo attuale o potenziale, di vegetali ivi coltivati o comunque ivi raccolti.

In tale evenienza un altro o più altri modelli permetteranno di studiare la successiva distribuzione dei radionuclidi nei corrispondenti ulteriori sistemi. Si perverrà in definitiva alla conoscenza della concentrazione di radioattività che si ha nei vari componenti dell'ambiente ecologico associato alla zona di scarico o di deposito, per una certa quantità di sostanza radioattiva messa in deposito o in discarico.

Questa conoscenza permette intanto di individuare fra tutti i gruppi di popolazione legati in qualche modo, già di fatto o anche solo potenzialmente, all'ambiente, quelli maggiormente esposti al rischio di danno da radiazione da parte di un certo radionuclide (gruppo o gruppi critici). Individuato il gruppo critico per un determinato radionuclide si può infine procedere alla valutazione della quantità massima di quel radionuclide che può venire immessa ogni dato tempo nella zona di deposito o di scarico senza che nel gruppo critico si superino globalmente le dosi limite indicate dalle norme di base.

Questa quantità, in analogia con quanto si fa per lo scarico nei corpi d'acqua, potrebbe chiamarsi carico limite di quel radionuclide per quella zona.

Reiterando il procedimento per tutti gli altri radionuclidi associati ai rifiuti si può pervenire ad una stima della «capacità totale del sito» in ordine alla radioattività che esso può ricevere.

La brevità del tempo non consente di sviluppare questo argomento in tutti i suoi molteplici aspetti. Ritengo tuttavia che i pochi tratti precedenti possano costituire una apertura, oggetto certamente di critica ma forse anche di una costruttiva discussione.

## APPENDICE

Diamo ora qualche esempio semplice del modo secondo cui il metodo proposto può venire applicato.

### 1° caso :

Caso limite ideale in cui la zona prescelta per il deposito o per lo scarico sia completamente impermeabile (miniera di sale). Il sistema si riduce al solo compartimento 1. In questo caso, se si introduce per esempio sistematicamente ogni anno una stessa quantità  $R$  di un radionuclide avente un semiperiodo  $T$ , la quantità totale messa a deposito o in discarica cresce, tendendo asintoticamente ad un valore costante che si raggiunge dopo un tempo all'incirca uguale a  $4 T$ .

Tale valore massimo è dato da :

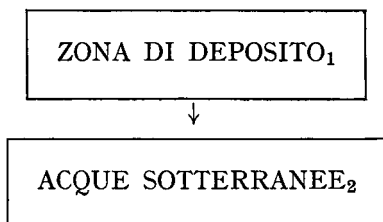
$$\frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \text{ per } t \cong 4 T$$

Il fattore limitante sarà allora l'intensità di esposizione che ne deriva in punti accessibili all'uomo.

### 2° caso :

Consideriamo il caso in cui i rifiuti vengano dilavati da acque sotterranee e che queste circolino senza che intervengano fenomeni tra i radionuclidi ed i terreni attraversati; poniamo altresì che i fenomeni di fuoriuscita a giorno di tali acque avvengano in misura — o comunque in condizioni tali — da potere essere trascurati.

Il modello si semplifica allora nel modo seguente :



sia :  $v$  la velocità dell'acqua;

$V$  il volume apparente dell'ammasso di rifiuti;

$R_0$  la attività iniziale dei rifiuti;

$l$  la dimensione dell'ammasso dei rifiuti nella direzione della corrente idrica;

$t^* = \frac{l}{v}$  il tempo impiegato dall'acqua ad « attraversare » l'ammasso dei rifiuti.

La concentrazione di radioattività in un volume d'acqua  $V$  uguale a quello apparente dei rifiuti, volume d'acqua « bagnante » tale ammasso, sarà data da :

$$C = \frac{R_0 K_{12} e^{-K_{12} t^*} e^{-\lambda t}}{v}$$

in cui  $t$  è il tempo intercorso dall'istante della creazione del deposito e  $K_{12}$  è il coefficiente di trasferimento (espresso in unità di tempo<sup>-1</sup>).

(Il valore di  $K_{12}$  si potrà ottenere a partire dal tasso di dilavamento dei rifiuti. Se questi sono per esempio inglobati in una matrice inerte — vetro, cemento, bitume — ed il tasso di dilavamento è espresso, poniamo, in g/cm<sup>2</sup> giorno, il valore di  $K_{12}$  si può ricavare moltiplicando il tasso di dilavamento per l'area della superficie dilavata e dividendolo per la massa dei rifiuti).

Poiché il volume d'acqua si sposta, in un punto sito più a valle, ad una distanza  $X$ , che viene raggiunto da tale volume dopo un tempo  $\tau = \frac{x}{v}$  la concentrazione sarà ivi :

$$C = \frac{R_0 K_{12} e^{-K_{12} t^*} e^{-\lambda(t+\tau)}}{V(x)}$$

essendo eventualmente anche variato (per ovvi fenomeni di diffusione) il volume dell'acqua in questione.

Se in tale punto l'acqua viene captata per scopi di approvvigionamento idrico, la condizione da rispettare è che ivi la concentrazione sia  $\leq$  CMA per acqua potabile.

\* \* \*

## *Discussion*

M. BRANCA répond à une question du président sur les fuites de radionucléides et sur les modèles prévisionnels : « I problemi di protezione sanitaria sussistono nella misura in cui la zona di deposito non è completamente impermeabile e meccanicamente stabile per tempi confrontabili con la vita media di nuclidi in gioco (si pensi al plutonio !). D'altra parte la garanzia intrinseca, legata cioè al condizionamento dei rifiuti, non è mai totale. Gli stessi vetri, quanto cioè di meglio la tecnologica moderna ci può dare in fatto di confezionamento, non sono del tutto insolubili e presentano un tasso di dilavamento che, per quanto piccolo, non è tuttavia nullo. Si tratta dunque di valutare se la fuga di radionuclidi, grande o piccola che sia, è compatibile con la ricettività dell'ambiente. Inoltre bisogna considerare un altro aspetto, quello del tempo. Le informazioni che si posseggono sulla tenuta e la resistenza dei materiali sono limitate evidentemente alla durata delle osservazioni. Sappiamo ancora troppo poco sul comportamento di molti materiali in condizioni reali per tempi dell'ordine delle centinaia o anche solo delle decine d'anni.

Per concludere dirò che, a mio avviso, l'eliminazione finale dei rifiuti solidi è problema per taluni aspetti simile a quello relativo ai rifiuti liquidi; la differenza sostanziale essendo rappresentata dal fattore temporale ».

M. BARBREAU : « Je pense qu'il faut distinguer le confinement au niveau des déchets eux-mêmes (conditionnement) et au niveau du site (valeur des coefficients de transfert). Il est évident que si le conditionnement des déchets est fait de telle sorte qu'il ne peut y avoir de phénomènes de transfert, nous n'aurons pas de problème sanitaire. Par contre, le déplacement de la radioactivité peut ne pas présenter de problèmes majeurs dans la mesure où elle ne peut pas atteindre un point d'utilisation qui peut être soit un exutoire de la nappe souterraine (source, rivière) soit des puits ou forages qui s'y alimentent. Le problème sanitaire se pose à partir du moment où les conditionnements des déchets d'une part et les facteurs de transfert d'autre part sont tels qu'une certaine activité est susceptible d'arriver à un point de consommation ou au moins au contact du milieu vivant. L'essentiel, dans un problème de stockage sur le sol ou dans le sol, est le suivant : déterminer exactement la valeur des paramètres de confinement et des paramètres de transfert afin de savoir s'il y a un risque de contamination du milieu vivant ou des ressources en eaux utilisables et éventuellement la valeur et l'étendue de ce risque. Généralement on peut, à base d'études géochimiques et hydrogéologiques, du moins dans la plupart des cas, faire une détermination à peu près correcte de la valeur du confinement et du coefficient de transfert. Il est certainement

plus difficile de faire une évaluation quantitative de la quantité de radio-activité qui est susceptible de ressortir au contact du milieu vivant et à ce point de vue je serais intéressé d'avoir quelques précisions sur la valeur donnée par M. Branca sur les 640 curies de cobalt. »

Sig. BRANCA : « Il calcolo, che è stato pubblicato su una rivista italiana, considera, come via attraverso la quale la popolazione della zona circostante può venire in qualche modo interessata dall'attività sepolta, la migrazione di tale attività a partire dall'eluizione della medesima da parte di acqua piovana oppure da parte di acqua di falda che, a seguito di innalzamento della falda stessa, venga ad interessare il fondo delle trincee. Premesso che la centrale, e la trincea di cui parliamo, si trovano in prossimità del fiume Garigliano, si sono fatte le seguenti ipotesi, tutte molto cautelative.

1. Tutta l'attività sepolta venga eluita e trasportata al fiume dalla falda in un trimestre.
2. La portata del fiume sia quella minima registrata e permanga tale per tutto il trimestre considerato.
3. L'attività associata ai rifiuti sia dovuta completamente all'isotopo più pericoloso presente nella miscela. (Sebbene il  $Co_{58}$  sia predominante, il calcolo è stato riferito al  $Co_{60}$  la cui CMA è tre volte inferiore.
4. L'attività sepolta, nell'ipotizzato trasferimento dalla trincea al fiume, non si riduce né per decadimento né per effetto della filtrazione e dello scambio ionico nel terreno.
5. L'acqua del fiume sia usata come fonte di acqua potabile.

L'attività massima che si può sotterrare in base alle suddette ipotesi risulta quindi dalla semplice relazione :

$$X = Qt \text{ (CMA)}$$

ove :

Q è la portata minima del fiume;

t è il numero di secondi in un trimestre. »

M. BARBREAU : « La méthode de calcul utilisée pour faire cette évaluation était au moins conservative. Finalement, elle ne correspond plus au concept de stockage, car vous considérez le rejet dans le fleuve, étalé dans le temps, à travers le terrain. Pratiquement, ce n'est plus un problème de stockage, mais de rejet nucléaire; alors, dans ce cas nous pouvons faire une évaluation quantitative, puisque vous considérez le débit du fleuve. Une deuxième valeur conservative est la quantité d'eau de cette rivière utilisée pour l'alimentation — on peut ainsi prendre en considération la CMA. »

Sig. BRANCA : « Sono d'accordo con lei, Sig. Barbreau; la valutazione della capacità ricettiva è stata effettuata in questo caso non attraverso un vero e proprio calcolo in cui venissero introdotti i valori reali dei coefficienti in gioco, bensì in base a certe assunzioni poco realistiche ma assolutamente prudenziali.

È evidente che, data la estesa varietà dei fenomeni che intervengono nell'ambiente ricettore e che presiedono all'iter dei radionuclidi associati ai rifiuti, il problema della conoscenza quantitativa completa e precisa della distribuzione di tali radionuclidi nell'ambiente non può essere scervo da complessità anche notevoli. Tra questi due poli e cioè il metodo rigoroso, basato sull'analisi di tutti i fenomeni che influiscono sul movimento delle sostanze radioattive nei singoli componenti dell'ambiente, ed il metodo empirico di cui si è dato un esempio, si colloca ovviamente tutta una serie di possibilità intermedie, che forniscono soluzioni tanto più vicine a quelle reali quanto più dettagliata è la conoscenza delle caratteristiche dell'ambiente e dei processi che in esso hanno luogo. »

M. MECHALI : « L'exemple que nous a donné M. Branca présente un aspect intéressant : dans certains cas, il n'est pas nécessaire peut-être de procéder à tous les calculs décrits. Il suffit de s'assurer que, même en hypothèses extrêmement pessimistes, on arrive à des conséquences qui soient totalement acceptables. Dans ces conditions, la résolution du problème peut être simplifiée. Dans l'exemple cité par M. Branca, les nécessités du stockage sont de 10 curies de cobalt, alors qu'avec des hypothèses extrêmement pessimistes, le stockage admissible serait de 640 curies. Il est donc certain qu'avec ce procédé le stockage peut être effectué sans aucune inquiétude. »

M. SCHEIDHAUER pose alors le problème du devenir des déchets de graphite provenant des réacteurs de l'EDF : « Ils sont composés essentiellement de chemises et les éléments contaminants, qui font partie intégrante du graphite sous forme d'impuretés, sont entre autres le cobalt 60, le manganèse 54. Suite à des essais de laboratoire contradictoires, nous avons fait un essai réel; il s'agissait d'une tonne de graphite représentant 1 m<sup>3</sup> de volume et une activité de cobalt de 1 curie par tonne. Nous avons mis ce graphite en terre et nous avons constaté qu'il se comportait absolument comme une éponge.

Le terrain était un terrain de remblai formé de schistes. Plusieurs tubes permettaient le contrôle des eaux au niveau du stockage et dans la nappe. Nous pensions avoir une bonne rétention mais nous nous sommes aperçus d'un transfert extrêmement rapide au niveau de l'enfouissement (3-4 m de profondeur). Il semblait y avoir des rétentions préférentielles,

le manganèse 54 se déplaçait plus vite que le cobalt 60; nous avons alors, après 14 mois, interrompu l'expérience.

Dans ce cas particulier, il y a désaccord avec les prévisions optimistes que nous avons faites pour un enfouissement relativement superficiel. Ce n'était certainement pas le meilleur cas; en général, dans l'enfouissement à cette profondeur, on trouve des terrains déjà bouleversés et il est donc difficile de faire des prévisions.»

Suite à une demande de M. Smeets (CCE), M. Scheidhauer donne quelques précisions sur le comportement du graphite.

«Pratiquement, tout se passait comme si l'on avait affaire à une lixiviation permanente sans évolution pendant le temps des expériences. Les radioéléments étaient représentés à l'état de trace du fait d'une activation totale du graphite et non d'une contamination. L'activité était de l'ordre de  $1 \mu\text{Ci}/\text{gramme}$  pour le Cobalt 60 plus l'activité d'autres radioéléments. La rétention par la terre était faible. L'activité volumique de la terre était la même que celle de l'eau.»

M. BOVARD ajoute quelques commentaires : « Il s'agit d'un cas particulier; le cobalt qui était fixé sur le graphite ne l'était pas par échange ionique ou par des phénomènes d'absorption. Il était statiquement présent par suite d'une activation; par conséquent, il n'y a peut-être pas de liaison physicochimique stable entre le graphite et le cobalt.»

M. VAN DE VOORDE : « Monsieur Branca, vous avez exprimé l'unité de lixiviation en  $\text{g}/\text{cm}^2/\text{jour}$  et vous avez employé l'expression  $E : C - \lambda t$  qui est applicable, à mon avis, seulement à la matière active.»

Sig. BRANCA : « Il modo di esprimere il tasso di dilavamento in  $\text{g}/\text{cm}^2$  giorno è convenzionale. In realtà non si tratta di grammi di materiale realmente passati in soluzione ma di una quantità teorica, associata alla radioattività lisciviata. Come è noto, le misure di lisciviabilità vengono effettuate immergendo i provini in acqua, misurando la concentrazione della radioattività trasferitasi in quest'ultima, e tenendo conto del peso dei provini e della superficie esposta. Naturalmente tutto quanto sopra detto vale in quei casi in cui — come ho precisato nel secondo esempio della mia relazione — il materiale radioattivo è omogeneamente distribuito in seno ad una matrice inerte. È stato d'altronde costituito un gruppo di lavoro dalla IAEA proprio per la standardizzazione delle misure di questo tipo.

Quanto alla seconda parte della vostra domanda, Sig. Van de Voorde, si sa dalla teoria dei compartimenti che, indicando con  $Q_0$  la quantità di



una qualunque sostanza contenuta inizialmente in un certo compartimento, se questa sostanza abbandona il compartimento alla velocità  $KQ$ , essendo  $K$  la frazione della quantità  $Q$  di sostanza eliminata nell'unità di tempo (detta costante di eliminazione o di rinnovamento del compartimento), se il compartimento non viene rifornito dall'esterno, la variazione nel tempo della quantità di sostanza presente è descritta dalla equazione

$$\frac{dQ}{dt} = -KQ$$

poiché la sortita della sostanza avviene con una cinetica analoga a quella che regge i processi di diffusione e quindi

$$Q = Q_0 e^{-Kt}$$

M. KAYSER : « Monsieur le Président, je voudrais poser une question assez fondamentale du point de vue sanitaire. Jusqu'à présent, le rejet d'effluents radioactifs était uniquement composé de solutions liquides de faible activité, en dessous de la CMA. On les déchargeait dans une rivière autour des installations nucléaires. Les déchets, solides ou liquides concentrés étaient stockés, par crainte d'une contamination du sol. Y a-t-il une tendance générale à stocker les radioéléments assez concentrés, situés au-dessus de la CMA, dans le sol, sauf cas particulier, comme la mine de sel où l'on ne suppose aucune diffusion de radioéléments? »

M. SCHEIDHAUER : « A La Hague, nous avons fait des essais d'enfouissement, dans des tranchées pleine terre, des déchets suspects de très faible activité sans conditionnement. Des déchets de moyenne activité enfermés dans des fûts ont aussi été enfouis dans des tranchées pleine terre. Ces essais ne représentent qu'une expérience limitée. »

M. BARBREAU : « Il y a effectivement une tendance à préférer l'enfouissement des déchets solides, de faible activité, c'est une solution économique. Le problème essentiel, sous l'angle de la sûreté radiologique et le confinement des déchets, est assuré par les caractéristiques mêmes du site. Il n'y a pas de raison de ne pas procéder à des stockages en surface ou dans le sol. Je laisse de côté les autres techniques, qui présentent des degrés de confinement absolus, comme les stockages dans le sel ou des injections à grande profondeur. Je ne vois donc pas de raison, a priori, d'éliminer l'éventualité d'un stockage de déchets radioactifs, en tranchées ou même au contact de la nappe, si la radioactivité, compte tenu des caractéristiques et paramètres de transfert (écoulements des eaux souterraines et phénomènes d'échange d'ions) n'a aucune chance d'être au contact du milieu vivant. »

M. MECHALI : « M. Kayser a présenté le problème de rejet d'effluents liquides de faible activité dans des cours d'eau et dans le sol sous un angle philosophique; il devrait être pris sous son angle réel, celui de la protection du public et de la population. De ce point de vue, on ne doit pas considérer différemment l'eau d'un cours d'eau contaminée par un rejet direct d'effluents radioactifs liquides ou une eau contaminée par percolation à travers un sol contaminé, si leurs utilisations sont identiques. Le résultat final est le même; je ne vois pas pourquoi l'on accepte un des procédés de dispersion dans la nature des substances radioactives à l'exclusion d'un autre, à condition que l'atteinte du public reste dans des limites acceptables. Je pense à l'analogie entre le rejet, dans les cours d'eau, des déchets liquides de faible activité et l'enfouissement de déchets dans le sol avec un confinement imparfait.

Si l'on enfouit des déchets dans le sol, avec un confinement imparfait, on aboutit à la dispersion d'une partie de radioéléments et l'on provoque d'abord une contamination des eaux souterraines, puis des eaux de surface qui peuvent être utilisées pour l'irrigation, l'agriculture, etc. Le résultat final est le même, que l'eau soit contaminée par rejet ou par percolation dans le sol.

Le seul problème est le problème sanitaire; savoir si cette contamination atteint l'homme et si elle reste alors dans les limites acceptables. »

M. BARBREAU ajoute : « Le stockage dans le sol ou sur le sol est une méthode qui peut permettre de réduire cet inconvénient. Il y a un préjugé favorable pour le stockage sur le sol ou sous le sol par rapport au rejet direct, à condition que les différents facteurs : transfert, vitesse, écoulement de la nappe, distance des exutoires par rapport au point de contamination, rétention de radioactivité et temps de décroissance, permettent de contenir la contamination extérieure au niveau des CMA admises. »

M. CANTILLON : « M. Mechali a raison, mais je suis néanmoins d'accord avec M. Kayser pour estimer que les rejets continus dans les cours d'eau doivent avoir une activité aussi faible que possible et pour prévoir en outre des possibilités immédiates d'intervention de manière à organiser les rejets en fonction du débit du fleuve. La crainte de M. Kayser est justifiée, mais les possibilités d'intervention sont différentes dans les deux cas.

Dans le cas d'un rejet dans un cours d'eau, on peut agir rapidement, sur des vannes par exemple, tandis que dans le cas d'un stockage sur site où des milliers de fûts sont empilés, il faudra, si le relâchage s'accroît rapidement, injecter par exemple des barrières chimiques dans le terrain.

Un liquide se manipule plus facilement qu'un solide et il y a plus de possibilités d'action avant que le cheminement aboutisse à l'homme. C'est, je pense, la raison de cette différence.»

M. MECHALI : « Monsieur le Président, la remarque de M. Cantillon me paraît juste; je crois que toutes ces études doivent se faire avec beaucoup de soin et de prudence. Je m'étais contenté de répondre à M. Kayser sur le plan de principe. Je voudrais m'élever contre un mot souvent employé : « à condition qu'on reste au niveau de la CMA », qui est un critère simplifié de niveau et non un critère fondamental de dose reçue. »

M. KAYSER : « Monsieur le Président, permettez-moi de préciser : dans chaque centrale nucléaire, il y a production d'un grand volume d'eau de faible activité que, pour des raisons économiques, on ne peut concentrer. Pour les déchets de moyenne activité, on préfère, vu leur faible quantité, les stocker plutôt que de les rejeter dans le sol, car du point de vue radioprotection, il faut tenir compte de ce qui est économiquement raisonnable. Si l'on rejette ces déchets solides ou moyennement concentrés dans le sol, il est difficile d'affirmer que la dose restera en dessous de la norme admissible si, par exemple, on ne peut retenir cette activité. »

M. KRAUSE : „Bei der Abwägung von Wirtschaftlichkeit und Sicherheit muß man je nach Höhe der Aktivität eine unterschiedliche Haltung einnehmen. Bei relativ großen Aktivitäten, wo wirklich ein sanitäres Risiko besteht, gibt es keinen Zweifel, daß die Wirtschaftlichkeit überhaupt nicht zählt. Hier muß eben gemacht werden, was erforderlich ist, und man kann nur so lange von zwei Verfahren das billigere wählen, wie die Sicherheit voll gewährleistet ist. Dann gibt es ein zweites Niveau, wo die Sicherheit zwar noch tangiert wird, aber nicht mehr in diesem strengen Sinne. Dort müßte man wirklich wirtschaftliche Überlegungen machen. Ist es möglich, zu einem vertretbaren Preis die Dispersion von Aktivität zu verhindern, dann sollte es gemacht werden. Bei uns in der Bundesrepublik wird so verfahren, daß man jede Ableitung so gering wie technisch möglich und wirtschaftlich tragbar hält, selbst wenn man unter den zulässigen Normen bleibt. Natürlich gibt es gelegentlich Streitfragen mit der Industrie, aber wenn man den Betroffenen sagen kann, wie das Problem mit zumutbaren Kosten gelöst werden kann, läßt sich meistens rasch eine Einigung finden.

Schließlich gibt es ein drittes Niveau, das so gering ist, daß man eigentlich nicht mehr darüber sprechen sollte, ob eine Ableitung vermeidbar ist, weil unter einem gewissen Niveau die Aktivität aufhört, überhaupt interessant zu sein. “



**IV — ÉTABLISSEMENT  
D'UN SITE DE STOCKAGE**

*Président :*

J. Smeets (CCE, Luxembourg)



## 1 — SITOLOGIE DU STOCKAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

G. Grison (CCE)

En lançant son action du second plan quinquennal dans le domaine du stockage des déchets radioactifs, la Commission d'Euratom avait basé celle-ci sur le principe du dépôt permanent des résidus sous une forme solide.

La pertinence de cette option fut confirmée quelques années plus tard lors du symposium organisé à Richland en février 1966 sur les problèmes posés par le traitement des déchets de haute activité. On pouvait notamment en retenir que le stockage sous forme liquide n'était pas, à long terme, une solution raisonnable et que les progrès réalisés — et prévisibles — dans les techniques d'insolubilisation permettraient d'obtenir un stockage répondant aux impératifs de surveillance et de contrôle pour des périodes de plusieurs centaines d'années.

Une autre confirmation fut apportée au cours du colloque sur l'évacuation des déchets radioactifs dans le sol, organisé par l'AIEA à Vienne en mai-juin 1967. Un certain nombre de communications ont eu pour sujet les études entreprises dans divers pays pour la localisation de sites de stockage. Ces travaux avaient un objectif commun : le stockage des résidus sous forme solide. La sélection des sites a été effectuée en fonction d'un certain nombre de critères. Bien que tous n'aient pas été retenus dans les diverses études, on peut citer les paramètres suivants : population, géologie, pédologie, météorologie, hydrogéologie, séismologie, géographie, infrastructure.

Le problème du choix des sites de stockage dans la Communauté a également été envisagé par la Commission. C'est en effet au début de 1965 qu'un contrat d'études a été conclu dans ce but. Il a permis la mise au point d'une méthode offrant une grande souplesse. Le principe de base est le suivant : obtenir une carte d'ensemble de la Communauté européenne sur laquelle la coloration fera apparaître en clair les zones offrant le maximum de garanties théoriques et, en plus foncé, celles où, théoriquement, toute possibilité d'installation d'un dépôt de déchets devrait être exclue.

Pour atteindre cet objectif, la technique suivante a été adoptée :

- chaque paramètre est représenté sur une carte colorée translucide,
- un éventail de couleurs a été attribué à chaque paramètre, les teintes les plus claires faisant ressortir les zones favorables tandis que les nuances les plus foncées correspondent aux zones les moins favorables,
- un fond toponymique unique indiquant également le chevelu hydrographique sert de fond repère commun à toutes les cartes,
- les cartes ont été dessinées à l'échelle de 1/1 000 000,
- l'ensemble cartographique comprend huit cartes colorées correspondant aux paramètres principaux, trois cartes rassemblant des données d'importance secondaire et le fond toponymique hydrographique.

## **Revue des paramètres**

### **a) Paramètre «Géographie»**

Ce paramètre n'est pas un critère primordial. Il doit cependant être pris en considération du fait de son interférence avec les autres paramètres. Les conditions géographiques et morphologiques peuvent en effet interdire la localisation d'un site dans certaines zones. D'autre part, il constitue le complément du fond toponymique.

La carte a été établie au moyen de courbes isohypses déterminant les classes suivantes :

- de 0 à 200 m
- de 200 à 500 m
- de 500 à 1 000 m
- de 1 000 à 2 000 m
- au-dessus de 2 000 m.

### **b) Paramètre «Population»**

L'importance de ce paramètre est primordiale : au coût de la protection biologique qui dépend de la densité de peuplement, viennent s'ajouter les difficultés psychologiques qu'entraînent un stockage et un transfert de produits radioactifs.



La carte a été établie avec les classes suivantes :

- de 0 à 20 habitants au km<sup>2</sup>
- de 20 à 40 habitants au km<sup>2</sup>
- de 40 à 60 habitants au km<sup>2</sup>
- de 60 à 80 habitants au km<sup>2</sup>
- de 80 à 200 habitants au km<sup>2</sup>
- de 200 à 500 habitants au km<sup>2</sup>
- plus de 500 habitants au km<sup>2</sup>

Une attention particulière a été réservée aux faibles densités de population, justifiant le découpage des classes tel que décrit ci-dessus.

La superficie de référence adoptée est en moyenne de 150 km<sup>2</sup> pour les pays du Bénélux, de 800 km<sup>2</sup> pour la France et de 500 km<sup>2</sup> pour l'Allemagne fédérale. Afin de respecter une certaine homogénéité, les unités territoriales de l'Italie sont des secteurs statistiques dont la superficie moyenne correspond aux références françaises.

Les données représentées sont celles qui résultent des recensements de 1960 à 1963 suivant les pays.

### **c) Paramètre «Météorologie»**

Ce paramètre revêt, pour le choix et la conservation du site, un double aspect selon que l'on considère :

- l'action du climat aussi bien sur les caractéristiques du sol que sur le conditionnement des produits;
- les risques de dispersion accidentelle d'une quantité plus ou moins importante des radioéléments contenus dans les déchets, soit dans l'atmosphère, soit dans les eaux de ruissellement et d'infiltration.

La connaissance des données météorologiques d'une région doit donc permettre de préciser :

- les modes d'action locale de l'eau,
- les agents atmosphériques vecteurs de pollution,
- les dangers d'érosion en vue de la protection du site,
- les éventuelles difficultés d'exploitation du site.

Pour cette étude, deux séries de données particulièrement importantes du climat ont été retenues. Les premières données s'inscrivent dans le principe général de la série des cartes; elles concernent la pluviométrie.

Les classes pluviométriques, représentées par les isohyètes, sont les suivantes .

- de 0 à 500 mm par an
- de 500 à 800 mm par an
- de 800 à 1 000 mm par an
- de 1 000 à 1 500 mm par an
- de 1 500 à 2 000 mm par an.

Quelques isohyètes supplémentaires, représentant des sous-classes, ont été représentées sans différenciation de coloration. Le nombre de jours de pluie annuel où les précipitations ont été supérieures ou égales à 0,1 mm a été mentionné pour 381 stations.

La seconde série de données a été indiquée sur une autre carte. Cette carte n'a qu'un but consultatif. Elle rassemble les renseignements suivants pour 160 stations :

- température maximale absolue,
- température minimale absolue,
- nombre de jours de gel par an,
- nombre de jours de neige par an.

#### **d) Paramètre «Géologie»**

L'intérêt de ce paramètre ne réside pas dans l'échelle chronologique des terrains, mais dans les caractéristiques lithologiques des diverses formations géologiques. Elles conditionnent en effet :

- la perméabilité, aussi bien en «grand» qu'à l'échelle cristalline,
- les capacités d'adsorption et de rétention,
- la résistance mécanique à long terme,
- la résistance à l'altération chimique, considérée également sur une durée de plusieurs siècles.

A l'échelle du 1/1 000 000, il n'était pas possible de représenter toutes les catégories lithologiques. Une simplification s'imposait. Cinq groupes de variétés pétrographiques ont été définis en fonction des qualités caractéristiques de chaque groupe au point de vue perméabilité, capacité d'adsorption et résistance. Les cinq groupes de base sont :

1. les marnes et argiles,
2. les roches éruptives et métamorphiques,
3. les grès, schistes, calcschistes et flysch,
4. les roches carbonatées (calcaires, dolomies),
5. les alluvions et sables anciens et récents; tufs volcaniques.

Dans certaines régions, l'alternance répétée d'affleurements de superficie réduite a conduit à utiliser des termes intermédiaires regroupant deux par deux les cinq groupes définis ci-dessus.

Le groupement «marnes et argiles», par exemple, se justifie par les bonnes qualités d'imperméabilité et de capacité d'adsorption que possèdent ces terrains. Par contre, les sables, alluvions et tufs sont en général défavorables à ces points de vue. La perméabilité en «grand», qui caractérise souvent les massifs de roches carbonatées, représente un élément défavorable pour ces terrains, tandis que leur résistance mécanique est en général une qualité appréciable.

La carte mentionne en outre les données tectoniques majeures, telles que flexions, décrochements, limites de fronts de charriage, failles principales, anticlinaux et synclinaux, zones de volcanisme actif. Les gisements salins sont également indiqués, le plan de référence se situant à 500 mètres en dessous du niveau du sol.

### e) Paramètre «Pédologie»

Ce paramètre prend toute son importance dans le cas des dépôts de déchets établis à la surface. C'est en effet la couche superficielle du sol qui sera susceptible ou non de ralentir, dans une mesure très variable, les infiltrations radio-actives qui risqueraient de contaminer la chaîne alimentaire.

Comme dans le cas des autres paramètres, il a fallu regrouper, sous une forme simplifiée et synthétique, les catégories de sols représentées en Europe occidentale en fonction de leur perméabilité et surtout de leur capacité d'adsorption. La classification suivante a été adoptée :

Perméabilité	Adsorption	Type de sol
Faible	Forte Moyenne Faible	Sols argileux Pseudogleys Roches nues non calcaires
Moyenne	Forte Moyenne Faible	Tchernozioms Sols lessivés et sols bruns lessivés Grès affleurants, sols bruns podzoliques
Forte	Forte Moyenne Faible	Andosols Sols bruns acides Podzols Sols alluviaux Sols sableux Sols sur roche mère calcaire ou dolomitique Sols tourbeux et paratourbeux

Par ailleurs, les zones d'hydromorphie à nappe phréatique permanente ou temporaire ont été figurées.

#### **f) Paramètre «Hydrogéologie»**

Ce paramètre est intimement lié à la protection biologique des populations, de la faune et de la flore. D'autre part, le potentiel des ressources aquifères des nappes est un élément capital qui doit être pris en considération lorsqu'un site de stockage est recherché; une nappe isolée, inexploitée actuellement, peut être définitivement perdue pour les besoins humains futurs si un site de stockage risque de la polluer. A l'échelle adoptée, il n'était pas possible de prendre en considération un grand nombre de classes répondant à tous les critères : abondance de l'eau, profondeur, gradients de vitesse, type de la roche magasin, degré d'exploitation, etc. Cinq groupes ont été retenus. Ils comprennent :

1. les nappes phréatiques pauvres : souvent superficielles ou en terrains imperméables (marnes, argiles, molasses argileuses, schistes);
2. les nappes locales discontinues des formations géologiques hétérogènes;
3. les nappes étendues des terrains poreux (alluvions, sables, conglomérats);
4. les nappes des séries carbonatées de type karstique (calcaires, craies, dolomies).

Dans la mesure du possible, la distinction entre nappe libre et nappe captive a été observée dans la représentation cartographique.

Comparée aux autres cartes dressées dans le cadre de l'étude générale, cette carte montre les corrélations très étroites qui existent entre l'hydrogéologie et les caractéristiques pétrographiques et structurales des pays. Par contre, la répartition des ressources en eau et des groupements de population sont absolument indépendantes. Les grandes régions urbaines sont souvent obligées de faire appel à des ressources aquifères très éloignées. La liaison avec les facteurs météorologiques est également très étroite. Enfin la mise en valeur des ressources hydrauliques conduit parfois à des évolutions rapides de l'économie régionale.

### **g) Paramètre «Séismologie»**

La sismicité régnant sous une zone de stockage a une incidence évidente sur la tenue des installations et sur le risque de dispersion des éléments stockés. Il est donc nécessaire de tenir compte du degré de probabilité et de l'amplitude des tremblements de terre.

Dans cette étude, les épicentres et la fréquence des séismes n'ont pas été représentés. Seules les zones sismiques ont été cartographiées, à partir du degré 5 de l'échelle de Mercalli.

Les classes considérées pour la construction de la carte sous forme d'«isoséistes» comprennent les coupures suivantes :

- degré égal à 5,
- degré égal à 6,
- degré égal à 7,
- degré égal à 8,
- degré égal à 9,
- degré égal et supérieur à 10.

### **h) Paramètre «Économie»**

Le sens donné à ce paramètre dans l'étude effectuée est quelque peu restrictif dans la mesure où il ne couvre que l'utilisation économique actuelle du territoire. Il serait cependant très difficile, sinon impossible, de tenir compte d'une évolution hypothétique et dont la perspective est elle-même indéterminée dans le temps. De plus, certains indices permettent de penser que ce sont les zones riches qui s'enrichiront le plus tandis que les zones pauvres (à tout point de vue : agriculture, industrie, population) le resteront le plus longtemps. Si donc la prudence s'impose dans la signification intrinsèque de la carte établie, il n'en reste pas moins qu'elle possède une valeur indéniable dans le cas de son utilisation avec les autres paramètres considérés. La représentation cartographique est basée sur les groupes suivants d'activité :

- zones à prédominance industrielle,
- zones à activité tertiaire prépondérante,
- zones agricoles à productivité importante,
- zones agricoles peu importantes.

Pour les activités non agricoles, celles à caractère industriel ont été séparées de celles à caractère tertiaire. La raison fondamentale de cette distinction tient à l'importance différente qu'elles jouent dans la localisation des centres économiques et dans la vigueur de leur développement.

Le critère de base qui a servi à déterminer l'importance économique d'une région a été celui de la main-d'œuvre. Apparemment, il peut sembler que ce critère soit très voisin de la densité de peuplement. En fait, les mouvements journaliers de la main-d'œuvre modifient quelquefois d'une manière très sensible la physionomie de la carte.

Une seconde carte, dont le but est uniquement consultatif, rassemble un certain nombre de données qui peuvent être utiles à une sélection primaire entre régions à caractères favorables. Ces données comprennent notamment : les domaines réservés (militaires, parcs nationaux, réserves naturelles), les barrages, les ports (par catégories), les réseaux d'autoroutes, les réseaux électriques, les canaux (par catégories), etc.

## CONCLUSIONS

L'objectif poursuivi dans cette étude est de faire apparaître, par superposition des cartes, un ensemble à coloration variée. Cet ensemble représente l'intégration des paramètres choisis, soit deux par deux, trois par trois, etc.

S'il n'est pas exclu, a priori, d'envisager la recherche d'une zone en fonction de certains critères particuliers, il semble cependant rationnel d'effectuer les superpositions en fonction de la valeur relative des paramètres. Ces valeurs sont fixées par les dangers inhérents à la présence du dépôt. Or, le danger le plus important correspond à la contamination des populations et de la chaîne alimentaire. Dans cette optique, les paramètres population, lithologie et hydrogéologie sont les premiers à prendre en considération. Une classe de second ordre pourrait contenir les paramètres pluviométrie, séismologie et pédologie. En effet, les variations des deux premiers paramètres sont faibles dans la plus grande partie de l'Europe, tandis que le troisième n'a qu'une influence limitée à la couche supérieure du sol. Enfin, en troisième ordre, il resterait les paramètres hypsométrie et économie dont les rôles sont évidemment secondaires, l'altitude ou une zone industrielle n'étant pas des obstacles absolus à l'installation d'un dépôt.

En résumé, ces cartes permettent d'opérer une présélection des zones de la Communauté européenne aptes théoriquement à abriter un dépôt de déchets radioactifs. Il n'est pas exclu d'appliquer une méthodologie

identique pour un examen plus approfondi des régions présélectionnées. Cette étude au second degré permettrait de limiter, géographiquement et financièrement, des études longues et coûteuses.

Il n'est également pas exclu d'entrevoir l'application de la méthode pour d'autres problèmes de l'industrie nucléaire ou d'industries conventionnelles. Le choix, la traduction cartographique, l'échelle et l'importance des paramètres dépendent du problème posé.

La conclusion serait incomplète si elle ne reconnaissait pas que cet ensemble de cartes paramétriques est susceptible d'améliorations. Mais dans cette étude, un choix a été nécessaire à tout moment. Dans la plupart des cas, il n'a guère été possible de pousser le détail au-delà d'une certaine précision qui aurait rendu la présentation impossible et, dans une certaine mesure, illusoire. La simplification de légendes très complexes à l'origine permet une vision synthétique et certaines cartes constituent ainsi des créations originales d'un ensemble cartographique résumant les caractéristiques principales d'un paramètre couvrant la Communauté européenne.

## 2 — ERRICHTUNG EINES ABFALL-LAGERS

H. KRAUSE (Deutschland BR)

Bei der Errichtung eines Lagers für radioaktive Abfälle auf oder unter der Erde (die Versenkung in das Meer wird hier nicht behandelt), müssen vor allem die nachfolgend aufgeführten Punkte berücksichtigt werden :

### a) Aktivität der Abfälle

*Hochaktive Abfälle* (einige tausend Ci/l) senden nicht nur eine starke Strahlung aus, sondern entwickeln auch eine beachtliche Zerfallswärme. Die hohe Strahlung erfordert besondere Einrichtungen für die strahlensichere Manipulation. Die direkte Auswirkung der Strahlung auf das Lagermedium ist nur auf kleine Bereiche begrenzt. Sie verursacht jedoch selbst in diesen keine ernsthaften Schäden oder Reaktionen und ist daher ohne größere Bedeutung. Wesentlich größere Probleme wirft die Ableitung der Zerfallswärme auf, da die normalen Böden und Gesteine eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit besitzen. Selbst bei der Lagerung in Salz, dessen Wärmeleitfähigkeit dreimal höher ist als die des Durchschnitts aller Gesteine, ist die ausreichende Ableitung der Zerfallswärme noch ein Problem. So müssen beispielsweise im Salzbergwerk Asse die hochaktiven Glaszylinder in einzelnen Bohrlöchern im Boden gelagert und zwischen den

einzelnen Bohrlöchern Abstände von 10 m eingehalten werden, um im Kontakt zwischen den Abfällen und dem Salz Temperaturen von etwa 300° nicht zu überschreiten (etwa 20 % Spaltprodukttoxide im Glas; Alter 2 Jahre; Zylinderdurchmesser 20 cm). Die Probleme der Wärmeableitung bei der Endlagerung hochaktiver Abfälle werden noch größer werden, wenn die erzielbaren Abbrände der Brennelemente steigen, und wenn man aufgrund neuer Kernbrennstoffe und Reprocessingverfahren weniger, dafür aber höher konzentrierten Abfall bekommt.

*Mittelaktive Abfälle* bedürfen ebenfalls einer Abschirmung bei der Manipulation. Da hier jedoch keine nennenswerten Wärmemengen freigesetzt werden, können im Prinzip beliebig große Mengen an Abfällen in beliebiger Anordnung aufeinandergetürmt werden. Eine direkte Beeinflussung der Umgebung durch die Strahlung ist nicht zu befürchten. Es muß allerdings sichergestellt werden, daß Personen, die in die Nähe des Lagers kommen, keiner erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt werden.

*Schwachaktive Abfälle* stellen weder von der Seite der Wärme noch von der Strahlung her ein Problem bei der Endlagerung dar.

## **b) Natur der Abfälle**

Bei der endgültigen Lagerung radioaktiver Abfälle spielt deren Natur eine große Rolle. In den meisten Fällen muß verlangt werden, daß die Abfälle fest sind. Je schwerer auslaugbar die in den Abfällen enthaltenen Radionuklide sind, desto geringere Forderungen müssen an die Isolierung des Lagers vom Biozyklus, insbesondere vom Grundwasser, gestellt werden. Umgekehrt spielt bei einer absoluten Isolierung des Lagers vom Biozyklus die Löslichkeit der Abfälle keine Rolle.

Bei der Sicherheitsbetrachtung über eine Lagerstelle muß auch berücksichtigt werden, ob die Abfälle brennbar, selbstentzündlich explosiv, gär- und faulfähig sind. Auch die Folgen einer Freisetzung gasförmiger Radionuklide (z.B.  $^3\text{H}$ , Rn) müssen berücksichtigt werden. Zum Beispiel kann es in einem Bergwerk erforderlich werden, die Menge derartiger Abfälle zu begrenzen oder für eine ausreichende Lüftung zu sorgen.

## **c) Transport**

Ein Endlager für radioaktive Abfälle muß auch unter dem Gesichtspunkt des Transportes gesehen werden. Aus Sicherheitsgründen ist es wünschenswert, daß die Zufahrt nicht durch ein sehr dicht besiedeltes



Gebiet erfolgen muß. Ein Bahnanschluß wäre wünschenswert, zumindest jedoch gute Straßenverhältnisse. Zur Ersparnis von Transportkosten sollte das Endlager möglichst zentral zu den Hauptanfallstellen liegen.

#### **d) Gesundheitspolitische Erfordernisse**

Von einem Lager für radioaktive Abfälle muß gefordert werden, daß über die langen Zeiträume, die zum Abklingen der Aktivität erforderlich sind, keine größeren Mengen von Radionukliden in den Biozyklus gelangen. Unter diesen Gesichtspunkten sind unter anderem sehr umfangreiche Untersuchungen der geologischen und hydrologischen Verhältnisse erforderlich. Bei der Beurteilung der Ergebnisse muß berücksichtigt werden, daß trotz sorgfältiger Untersuchungen Inhomogenitäten des Untergrundes, Klüfte usw. übersehen werden können oder daß nachträgliche Verwerfungen usw. auftreten können, so daß ein absoluter Abschluß der Abfälle zum Biozyklus nicht leicht sicherzustellen ist.

Es muß auch berücksichtigt werden, daß der Bedarf an Trinkwasser und Bodenschätzen der verschiedensten Art ständig steigt. Man sollte deshalb bei der Wahl eines Lagerplatzes für radioaktive Abfälle auch weit in die Zukunft sehen, damit nicht wertvolle Vorräte geschädigt werden, selbst, wenn sie nach dem heutigen Stand uninteressant erscheinen.

#### **e) Psychologisch-politische Fragen**

Schon wiederholte Male ist die Errichtung eines Lagers für radioaktive Abfälle trotz hervorragender sicherheitstechnischer Verhältnisse am Widerstand der Bevölkerung gescheitert. Eine rechtzeitige und gute Aufklärung ist deshalb unbedingt erforderlich. Die Praxis scheint jedoch auch noch zu beweisen, daß der Widerstand in der Bevölkerung stets dann am geringsten ist, wenn mit der Errichtung eines solchen Lagers die Schaffung neuer bzw. die Erhaltung bestehender Arbeitsplätze verbunden ist. Auch dieser Gesichtspunkt sollte daher berücksichtigt werden.

#### **f) Fassungsvermögen eines Lagers**

Anhand der Prognose der künftigen Entwicklung der Kerntechnik, des bekannten Anfalls in den verschiedenen kerntechnischen Anlagen sowie der Volumenreduktionsfaktoren bei den einzelnen Abfallbehandlungsverfahren läßt sich eine Schätzung des künftigen Anfalls an radioaktiven Abfallkonzentraten machen. Bei Kenntnis der Lagertechnik läßt sich aus

den Anfallmengen der Platzbedarf errechnen, wobei Füllfaktoren, Verkehrswege usw. zu berücksichtigen sind. Bei der Lagerung hochaktiver Abfälle beträgt der Raumbedarf jedoch ein Vielfaches des Abfallvolumens, da zur Ableitung der Zerfallswärme große Zwischenräume zwischen den einzelnen Abfallbehältern gelassen werden müssen.

### 3 — CONSÉQUENCES SANITAIRES DU STOCKAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS DANS LE SOL ET ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DE STOCKAGE D'UN SITE

D. MECHALI (CEA, France)

Quelles que soient les modalités de stockage des déchets radioactifs, sur le sol ou dans le sous-sol, qu'il s'agisse de liquides contenus dans des réservoirs enterrés ou de solides dont le conditionnement est plus ou moins élaboré, le risque essentiel pour le public est lié à la contamination possible des eaux souterraines et à leur utilisation.

On examinera rapidement les modes d'atteinte de l'homme à partir de la contamination des eaux souterraines et on rappellera les limites admissibles d'exposition du public. On étudiera ensuite la méthode à suivre pour déterminer la capacité de stockage d'un site.

#### **a) Voies d'atteinte de l'homme dans le cas de contamination des eaux souterraines**

Les eaux des nappes souterraines non captives réapparaissent à la surface soit en formant des sources soit en s'infiltrant directement dans des cours d'eau, en s'y diluant d'ailleurs de façon plus ou moins importante. Elles peuvent d'autre part être utilisées directement par puits, pompage, etc.

Les voies nombreuses parfois complexes par lesquelles l'homme pourra être atteint dépendront de l'utilisation de ces eaux.

Une irradiation externe de l'organisme par les rayonnements  $\beta$ ,  $\gamma$  peut être entraînée par des bains en eau contaminée ou par le séjour auprès de sols sur lesquels se sont accumulés les radioéléments (sédiments déposés sur les rives des cours d'eau, produits du curage des canaux d'irrigation déposés sur le bord). Elle pourra également résulter de la manipulation d'engins de pêche ou d'équipements sportifs contaminés.

Mais le risque généralement le plus important est un risque de contamination interne, essentiellement par ingestion. L'utilisation de l'eau comme eau potable (boisson — lavage et cuisson des aliments) est la voie d'atteinte à laquelle on pense habituellement mais elle n'est pas la seule et elle n'existe pas toujours. Les utilisations agricoles de l'eau entraînent également des risques bien connus :

- contamination de produits alimentaires végétaux par voie racinaire dans le cas d'une irrigation par raies et également par voie foliaire dans le cas d'une irrigation par aspersion;
- contamination de produits d'origine animale provenant d'animaux nourris avec les productions de la zone irriguée ou abreuvés avec l'eau contaminée.

Lorsque les cours d'eaux sont utilisés pour la pêche et en particulier pour la pêche commerciale, la consommation des poissons ou crustacés qui concentrent les radioéléments présents dans l'eau constitue également une source de contamination interne.

De nombreuses autres voies d'atteinte de l'homme, d'importance secondaire, pourraient être citées : inhalation de gouttelettes d'eau contaminée lors de l'irrigation par aspersion ou des sports nautiques, inhalation de fines poussières provenant de sédiments contaminés ... irradiation externe dans les usines de traitement des eaux...

L'importance relative de ces différentes modalités d'atteinte de l'homme variera dans chaque cas en fonction des utilisations qui seront faites des eaux contaminées.

Mais quelles que soient les voies d'atteinte dans un cas donné, il sera nécessaire d'évaluer les conséquences de la contamination des eaux et donc du dépôt dans le sol de déchets radioactifs sur la santé de l'homme.

## **b) Limites admissibles d'exposition au public**

Toutes les personnes qui sont susceptibles de se trouver au terme des différentes voies de transfert des radioéléments ne subiront pas des expositions du même ordre de grandeur. De multiples facteurs relatifs au mode de vie, aux habitudes alimentaires, à l'âge, aux activités professionnelles conditionnent, en effet, l'atteinte de l'organisme par les substances radioactives.

Il sera cependant toujours possible de distinguer, dans la population qui peut être exposée, des groupes de population homogènes quant à l'âge et aux différents aspects qui conditionnent l'exposition (situation

géographique, régime alimentaire et origine des produits consommés, activités professionnelles, activités de loisirs).

Les individus qui composent chacun de ces groupes seront soumis à une exposition similaire, mais non identique (la ration alimentaire ne sera pas exactement la même pour chaque individu, par exemple : les variations individuelles du métabolisme entraîneront également des différences entre les doses reçues par les différents individus). On ne pourra donc déterminer que la dose reçue par l'individu moyen du groupe (moyen quant aux caractéristiques qui déterminent la dose). C'est l'irradiation de cet individu moyen qui sera considérée comme représentative de l'exposition du groupe de population étudié, la dispersion des doses reçues effectivement par les individus autour de cette dose moyenne dépendant du soin avec lequel aura été délimité le groupe de population.

Les différents groupes de population ainsi définis, qui peuvent être exposés du fait de la contamination des eaux, le seront de façon très inégale et on pourra habituellement identifier un ou deux groupes de population qui, en raison de leurs caractéristiques, seront nettement plus exposés que tout le reste de la population à l'extérieur du site. C'est sur ce ou ces groupes, appelés habituellement «groupes critiques», que l'on jugera des conséquences sanitaires du dépôt dans le sol des déchets radioactifs.

Les conséquences de l'exposition sur la santé de l'homme seront jugées par référence aux limites de doses qui correspondent à des risques acceptables et qui sont fixées dans les réglementations nationales (sur la base des directives de l'Euratom et des recommandations de la CIPR) :

— Organisme entier — organes hématopoïétiques — gonades	0,5 rem/an
— Peau — os . . . . .	3 rem/an
— Autres moyens (thyroïde, TGI, foie) . . . . .	1,5 rem/an

Ces limites s'appliquent à l'irradiation totale des organes, c'est-à-dire à la somme de l'irradiation externe et de l'irradiation interne résultant de la contamination. En ce qui concerne l'irradiation interne, ces limites s'appliquent à la dose engagée qui résulte de la contamination annuelle, c'est-à-dire à la dose totale qui sera délivrée au cours du temps par suite de l'incorporation annuelle des substances radioactives. On montre que dans le cas d'une incorporation à niveau constant, le débit de dose, c'est-à-dire la dose reçue effectivement chaque année, atteindra après un temps plus ou moins long une valeur d'équilibre égale à la dose engagée annuelle.

Enfin, lorsque la population exposée est très importante, ce qui paraît extrêmement peu probable dans le cas envisagé, il faudra également s'assurer que la contribution apportée par les opérations à la dose génétique pour l'ensemble de la population reste acceptable.

### c) Évaluation de la capacité de stockage d'un site

Il est donc nécessaire, lorsque l'on envisage de créer un site de stockage, de faire une évaluation des doses qui pourraient être reçues par le ou les groupes de population critiques, du fait de ce stockage et de déterminer les limites des activités qui pourront être stockées sans que soient atteintes les limites de doses fixées par la réglementation ou par les autorités publiques.

C'est là le problème qui se pose chaque fois que l'on envisage une dispersion de substances radioactives dans le milieu. Mais s'il est parfois assez facile à résoudre, comme par exemple dans le cas de rejets dans l'atmosphère de gaz rares ou de radioéléments à vie courte, il est souvent très complexe et c'est le cas en particulier des stockages dans le sol.

Les différentes études auxquelles il faudra procéder pour apporter une réponse à la question posée peuvent être regroupées en quatre catégories :

- Études sur la libération dans le sol des substances radioactives, en fonction des caractéristiques des emballages et des conditions du stockage. Elles devront permettre d'estimer ou au moins de faire des hypothèses prudentes sur la fraction des activités stockées qui sera libérée dans le sol par unité de temps.
- Études sur le mouvement des radioéléments dans le sol et les eaux. Elles comportent des études géologiques et hydrologiques qui préciseront la nature du sous-sol, l'emplacement des nappes et leurs mouvements, et des études physico-chimiques sur le comportement des radioéléments dans le sol (sorption et désorption...). Elles permettront d'évaluer l'évolution dans le temps de la contamination des nappes phréatiques et des eaux de surface qu'elles alimentent.
- Études sur l'utilisation des eaux (nappes phréatiques ou eaux de surface). Elles permettront de faire l'inventaire des voies d'atteinte possibles de l'homme. Elles seront complétées par la détermination des paramètres de transfert qui, pour chaque voie d'atteinte, permettent de passer du maillon initial, la contamination des eaux, au maillon final de la chaîne, l'aliment consommé dans le cas de l'irrigation par exemple.
- Études des caractéristiques des groupes de population qui peuvent être exposés : mode de vie, régime alimentaire et provenance des aliments, distribution des âges, activités professionnelles et de loisirs. Elles permettront de définir le ou les groupes de population pour lesquels on fera une évaluation quantitative de l'exposition. Il ne faut pas oublier à ce propos que le groupe critique peut être situé loin du site de stockage.

Toutes ces données permettront d'évaluer les doses qui pourront être reçues dans un avenir plus ou moins éloigné par le ou les groupes de population critiques en fonction des activités stockées. Il est bien certain qu'il sera souvent difficile et parfois impossible de réunir toutes les données quantitatives nécessaires à cette évaluation et que les valeurs des paramètres qui entrent dans l'évaluation comporteront souvent une certaine marge d'incertitude. Il est de règle, dans ce cas, de prendre pour les paramètres mal connus ou inconnus des valeurs prudentes.

Toutes ces études auront également mis en évidence la ou les voies d'atteintes prédominantes ou voies d'atteintes critiques et le ou les radioéléments qui apportent la contribution la plus importante à la dose, c'est-à-dire les radioéléments critiques. Ces données seront particulièrement utiles pour définir le programme de surveillance. La surveillance qui sera mise en œuvre permettra d'ailleurs de vérifier le bien-fondé des conclusions tirées des études initiales.

Telles sont les grandes lignes de la méthode qui permet de déterminer la capacité de stockage d'un site.

En pratique, on procédera d'abord à une étude préliminaire du problème fondée sur les données sur les conditions du stockage et les informations existantes sur les structures géologiques et le réseau hydrologique du site, les mouvements des eaux et leur utilisation. Cette étude préliminaire permettra généralement, moyennant des hypothèses volontairement pessimistes, de placer le problème dans sa vraie perspective et montrera si l'exposition qui peut résulter du stockage est négligeable ou significative. Ce n'est que dans ce dernier cas que seront entreprises des études plus complètes.

## *Discussion*

M. SMEETS (CCE), président, demande à M. Mechali, au sujet des groupes critiques, la différence entre l'installation nucléaire et l'installation d'un centre de stockage.

M. MECHALI : « Monsieur le Président, je crois qu'il faut considérer deux aspects : l'aspect théorique et l'aspect concret.

Le problème de dépôt dans le sol est du même ordre que celui du rejet dans l'atmosphère ou dans les eaux de surface. Dans certains pays, les dépôts dans le sol, pour les déchets de faible activité, sont des dépôts

en vrac, avec des emballages extrêmement rudimentaires. C'est une méthode acceptée de dispersion de radioéléments dans le milieu, ce n'est pas un stockage définitif mais une dispersion délibérée. Sur le plan pratique, il y a cependant une différence essentielle selon que la dispersion des radioéléments a eu lieu dans le sol ou directement dans les cours d'eau.

Lorsque des radioéléments sont déposés, la contamination des eaux, des eaux de surface après celle des nappes souterraines, est extrêmement réduite par le phénomène d'absorption dans le sol. D'autre part, la contamination se fera après un délai important et lorsqu'il s'agit de radioéléments à vie courte ou moyenne, l'activité des eaux utilisables sera réduite considérablement.

Pour des dépôts, avec un confinement réputé sûr, les possibilités d'atteinte des emballages par différents processus et de libération de radioéléments doivent retenir l'attention lors du choix d'un site. Voici pourquoi on ne peut se passer d'une étude du site avant de passer à un centre de stockage. Il est possible que dans certains cas les structures géologiques, hydrologiques, etc., soient telles qu'on puisse se passer d'études complexes, mais l'étude préliminaire avec les données dont on dispose est toujours indispensable même lorsque le confinement est sûr. »

M. CANTILLON : « Monsieur le Président, dans ce domaine les études peuvent être illimitées ou bien s'arrêter aux paramètres fondamentaux. Je me demande si nous pouvons orienter notre philosophie et nous pencher dans le même sens que les études de sécurité dans les centrales nucléaires. Dans le passé, on tenait compte de l'accident maximum croyable. La construction d'une centrale représente actuellement de 7 à 8 milliards de francs belges et, à ce prix, on ne peut pratiquement plus envisager l'accident.

Dans le cas des déchets radioactifs, on peut employer une série de barrières dont chacune permet d'évaluer, dans des conditions pessimistes, le taux de migration à partir d'un dépôt ou d'une conduite. On peut ainsi définir un risque acceptable.

A ce propos, je voudrais demander si dans les différents pays de la Communauté, il existe des dispositions légales concrètes relatives à l'enfouissement.

En Belgique, nous faisons une distinction entre rejets liquides, gazeux et le dépôt sur ou dans le sol mais le législateur a résumé le tout d'une manière assez simple, par exemple, pour les déchets solides stockés sur ou dans le sol, on propose d'effectuer une étude géologique, hydrologique, biologique, sismologique et aussi des études concernant la faune et la

flore. Il est évident que si on se lançait dans de telles études, cela risquerait de mobiliser toutes nos universités et tous nos chercheurs pendant un temps très long. Son application devrait être revue avec un esprit assez large et faire appel à des experts de ce contexte. Il y a des risques calculés à accepter et nous devons donner au problème un aspect qui garantisse à la fois la sécurité (protection sanitaire) et les possibilités industrielles.

Nous devons, à mon avis, amplifier les contacts avec les industriels pour coordonner et harmoniser ces problèmes.»

M. MECHALI : «Monsieur le Président, en ce qui concerne la France, M. Sousselier a donné des indications. Il a rappelé qu'il y avait une réglementation des installations nucléaires de base, que chaque installation était étudiée cas par cas et qu'aucune installation ne pouvait être créée sans une autorisation ministérielle.»

M. SMEETS (Président) : „Voorziet de Nederlandse wetgeving, namelijk de Kernenergiewet, op dit gebied?“

M. SEGERS : „Voor lozing is in Nederland een aparte vergunning nodig en voor opslag van radioactieve afval eveneens. Men mag géén radioactieve stoffen begraven of in het water lozen zonder vergunning. Bij de afgifte van die vergunning worden de gevaren berekend voor de bevolking. Iedere lozing wordt dus eigenlijk afzonderlijk bekeken, hoewel er in het algemeen voor lage concentraties een zekere normalisatie is opgetreden. Dat wil zeggen, dat men bij voorbeeld in rioleringen mag lozen  $10^{-6}$   $\mu\text{Ci/cc}$  als het langlevende nucliden betreft. Lange halveringstijd wordt genoemd langer dan 14 dagen; voor kortlevende radioactieve stoffen ( $T_{1/2}$  14 d) wordt de grens gesteld op  $50 \times 10^{-6}$   $\mu\text{Ci/cc}$ .

Bovendien mag *niet* iedere hoeveelheid in lage concentratie geloosd worden. Er is ook nog een absolute hoeveelheid vastgesteld en die bedraagt voor de eenvoudige isotopenlaboratoria per vier opeenvolgende weken 100  $\mu\text{Ci}$  in totaal, en voor de wat zwaardere laboratoria 500  $\mu\text{Ci}$  in totaal. Voor kerninstallaties liggen deze getallen hoger, maar hierbij wordt rekening gehouden met ligging, bij voorbeeld aan zee of rivier en met het water-debiet.”

M. SMEETS (Président) : „ Dit betreft dus lozingen, maar hoe staat het met de opslag?“

M. SEGERS : „Ook voor opslag heeft men vergunning nodig. Bij kernreactoren worden de splijtstoffen weer afgevoerd naar het buitenland, daar hebben we dus thans niet veel problemen mee. In de toekomst



misschien wel. Daarom zou ik de vraag willen stellen of het mogelijk is in de toekomst te komen tot een gemeenschappelijke opslagplaats waar opslag van radioactieve afvalstoffen uit de gehele Gemeenschap plaats kan vinden?

Verder hebben we een landelijke ophaaldienst, waarmee de radioactieve afvalstoffen worden opgehaald en naar Petten gebracht.

De dumping van radioactieve afvalstoffen in zee, zie ik niet als oplossing op lange termijn."

M. SMEETS (Président) : „Met betrekking tot Uw vraag, die reeds gisteren door de heer Cantillon gesteld is, zou ik willen opmerken dat wij op een colloquium zijn waar een uitwisseling van ideeën plaatsvindt. Zonder tot aanbevelingen te willen komen, kan deze vraag als algemene probleemstelling besproken worden. Ik vraag mij af of dit punt niet reeds in een vroeger stadium door de heer Grison bij Euratom bestudeerd, of in besprekingen behandeld is."

M. GRISON : « Vous soulevez un point délicat au sujet du site communautaire. Fin 1963 et au début de 1964, il y avait eu une série de réunions à Bruxelles pour orienter notre deuxième plan quinquennal. Nous avons lancé l'idée d'un ou de plusieurs sites communautaires — je crois avoir indiqué à l'époque 3 sites —. Il y a deux ans, pour le troisième plan quinquennal, non encore défini, j'ai repris cette idée pour les déchets radioactifs; j'espère et formule l'espoir d'en voir la réalisation. »

M. KRAUSE : „Ich möchte zu zwei Punkten etwas sagen : zunächst einmal zur angeschnittenen Frage, ob man radioaktive Abfälle auch in einem fremden Land unterbringen kann. Es kann natürlich auch nur eine persönliche Meinung sein, aber sie ist ungefähr die : In den nächsten Jahren hat man, meiner Ansicht nach, sicherlich sehr große psychologische Schwierigkeiten, wenn man von einem Land in das andere radioaktive Abfälle zur Endlagerung bringt. Wir hatten ja gestern mehrfach darüber gesprochen, welche Schwierigkeiten sich schon in dem eigenen Land mit den eigenen Abfällen ergeben können, und sie werden sicherlich noch höher werden, wenn man Abfälle aus einem fremden Land zur dauernden Lagerung übernimmt. Nun ist dies natürlich etwas, was im Laufe der Zeit überwunden werden kann. Wir sollten uns keine Illusionen darüber machen, daß dann, wenn diese Periode vorbei ist, die Mengen an radioaktiven Abfällen so groß werden, daß wir wahrscheinlich in praktische Schwierigkeiten geraten werden. In diesem Zusammenhang möchte ich vielleicht einmal ein Wort zu unserem Salzbergwerk sagen. Natürlich, das Volumen ist so groß, daß man sich fragt, warum nicht von woanders auch noch Abfälle aufgenommen

werden können. Es gibt jedoch auch in diesem Salzbergwerk Asse Engpässe, und einer davon ist beispielsweise der Schacht. Wir haben uns aufgrund von Zeitstudien ausgerechnet, daß wir Ende der 70er Jahre nicht mehr mit dem Schacht auskommen werden, weil die Förderkapazität nicht mehr ausreichen wird. Das ist der Engpaß des Bergwerks, nicht das Volumen.

Der Bau eines neuen Schachts für ein Salzbergwerk von 750 m Tiefe stellt ein Projekt dar, das ungefähr 15 Millionen Mark kosten kann und deshalb die Lagerung von größeren Mengen von außerhalb verhindert. In dem Fall, wo man Abfälle einlagert, die eine Abschirmung brauchen, muß man nämlich die Abschirmung mitsamt den Abfällen bis ins Bergwerk bringen, d.h. man transportiert 5 % echten Abfall, der Rest ist Abschirmung. Bei sehr hochaktiven Abfällen ist das Verhältnis noch ungünstiger, und damit wird der Schacht zum Flaschenhals, zum Engpaß des Lagers.

Kommen wir zum ersten Punkt zurück, zur Möglichkeit der Unterbringung von radioaktiven Abfällen in einem anderen Land (und ich glaube, daß es mit dem Vergraben nicht sehr viel anders ist). Man wird vielleicht im Laufe der Zeit Schwierigkeiten haben, ausreichend Platz, jeder für sein eigenes Land, zu finden und deshalb nicht so leicht von außerhalb Abfall annehmen können.

Zur Praktik der Beseitigung der radioaktiven Abfälle in der Bundesrepublik ist folgendes zu sagen : Es hat jede kerntechnische Anlage eine Genehmigung, und in der Genehmigung ist u.a. auch festgelegt, was mit den radioaktiven Abfällen gemacht werden darf. Es ist immer erlaubt, eine gewisse Menge an flüssigen radioaktiven Abfällen in die Kanalisationen, Flüsse und dergleichen abzuleiten. Früher ging man dabei meist von Konzentrationswerten aus, heute neigt man dazu, absolute Aktivitäten anzugeben, die abgeleitet werden dürfen. Hierbei müssen zwei Dinge berücksichtigt werden, einmal die Kapazität des Vorfluters und zweitens die Möglichkeit des Produzenten, die Abfälle aufzubereiten. Wenn es mit einem vertretbaren Aufwand möglich ist, die Ableitung zu vermeiden, dann wird dies gefordert. Wenn dies nicht mit normalem Aufwand erreicht werden kann, wird die Ableitung genehmigt, sofern natürlich keine grundsätzlichen Bedenken dagegenstehen. Analoges gilt für die radioaktiven Gase. Bis jetzt ist man ziemlich freizügig gewesen und könnte es auch noch eine gewisse Zeitlang sein. Aber wie es in der weiteren Zukunft aussieht, ist zu prüfen. Sicherlich wird man da zu neuen Techniken übergehen müssen, um diese Gase zu separieren.

Die Beseitigung radioaktiver Rückstände im Boden ist in der BR Deutschland an sich nicht gestattet. Lange Zeit hat man bei uns geglaubt, daß man das Vergraben radioaktiver Abfälle im Boden grundsätzlich verbieten mußte. Diese Meinung hat sich geändert, ist aufgeweicht worden.

Man wird jedoch wegen der Möglichkeit, die Abfälle im Salzbergwerk unterzubringen, keinen sehr großen Gebrauch vom Vergraben machen. Es gibt eine deutsche Firma, die sich vor einigen Jahren darum bemühte, eine Lizenz zum Vergraben radioaktiver Abfälle auf kommerzieller Basis zu erhalten, so ähnlich wie Infracom oder ähnliche Firmen. Man hat die Entscheidung verschoben. Wie gesagt, ist das Vergraben nicht grundsätzlich verboten, aber es besteht keine große Neigung, in größerem Umfang zu vergraben.“

M. VAN DE VOORDE : „Ik wil U wijzen op de bijzondere situatie waarin bijvoorbeeld België zich thans bevindt met Eurochimie. De „fuel“ uit naburige landen wordt in België bewerkt en vervolgens teruggestuurd; de „waste“ blijft in België. Ik geloof dat het niet moeilijk moet zijn om tot een gemeenschappelijke opslagplaats te komen; „vreemde“ afvalstoffen kunnen toch ook elders geaccepteerd worden zoals thans in België.“

M. FONTAINE : « Je voudrais signaler que nous avons, à Ispra, un centre communautaire qui produit 200 m<sup>3</sup> de déchets de moyenne et faible activité par an. Nous avons donc une production de déchets et un stockage communautaire provisoire sur le site, nous attendons le stockage communautaire définitif. »

M. SCHEIDHAUER : « Ce sont les déchets de faible et moyenne activité qui posent le plus de problèmes. Ce qui coûte cher, c'est le transfert de ces déchets. On ne choisit pas un bon terrain seulement pour des impératifs sanitaires, il doit être près des centres producteurs, où la population est faible, où les autorités locales peuvent être intéressées, etc. Parmi tous ceux retenus il sera évidemment choisi pour la sûreté qu'il peut apporter. Pour transporter les déchets à travers l'Europe, il faut en préciser la nature : produits de fission solidifiés, ou bien déchets conditionnés, mais alors les aspects économique et sanitaire compliquent le problème. Si l'on ne veut pas faire des dépenses coûteuses en études de sûreté, on doit mettre le prix dans le conditionnement et le stockage; on ne peut pas prendre isolément le problème sanitaire. »

M. MEHL : „Ehe ich auf die Überwachung der Lager eingehe, möchte ich noch auf zwei Faktoren hinweisen, durch die Abschätzungen der in den nächsten 30 Jahren anfallenden radioaktiven Rückstände beeinflusst werden könnten, die jedoch bisher nicht explizit genannt worden sind :

1. Die Gültigkeitsdauer der gegenwärtig angewendeten Strahlenschutz-Richtwerte.
2. Die Anwendbarkeitsdauer der Ableitung bestimmter langlebiger radioaktiver Stoffe.

Der Einfluß des ersten Faktors wird deutlich, wenn man auf die Entwicklung der Richtwerte in den vergangenen 30 Jahren zurückblickt. Sollte in den nächsten Jahrzehnten eine weitere Reduzierung dieser Werte erforderlich werden, so würden sich damit die zurückzuhaltenden zu behandelnden und zu lagernden Rückstände zweifellos erhöhen.

Der Einfluß des zweiten Faktors läßt sich am Beispiel des Kr-85 verdeutlichen : Sobald die Grenzkapazität der Atmosphäre für Kr-85 erreicht ist, wird man dieses Nuklid nicht mehr einfach ableiten können, sondern muß es zurückhalten. Damit könnten erhebliche bisher nicht einkalkulierte Bearbeitungs- und Lagerungsprobleme für dieses Radionuklid entstehen. Es wäre deshalb bei langfristigen Voraussagen gut, diese beiden Faktoren im Auge zu behalten.

Auch im Auge behalten sollte man — und damit komme ich auf die Überwachung der Lager — die eingelagerten radioaktiven Stoffe selbst. Es ist ein bewährtes ICRP-Konzept, daß der Strahlenschutz primär die Quelle unter Kontrolle halten sollte. Dieses Konzept sollte nicht ohne zwingende Gründe aufgegeben werden. Die indirekte Kontrolle der Quellen über die Überwachung der Umgebung ist mit Unsicherheitsfaktoren behaftet und mit einer Informationsverzögerung verbunden. Deshalb wäre es sicher gut, wenn sich die Überwachung der Lager mehr als bisher beschrieben auf Verfahren stützen würde, die eine unmittelbare Überwachung der Strahlenquellen zulassen.“

M. LENZI : «Desideravo porre una domanda ai presenti riguardo al problema dello smaltimento del Krypton in particolare e dei gas radioattivi in generale : esistono attualmente delle soluzioni pratiche per l'immissione dei gas radioattivi nel sottosuolo come recapito finale ? C'è qualcuno che può rispondere a questo problema ? »

M. FARGES : «Il y a le projet de M. Pannetier pour le stockage du krypton dans des structures souterraines appropriées, comparables à celles utilisées pour le stockage du gaz ou des produits pétroliers. (réf. CEA-R 3591, (1968), «Distribution, transfert atmosphérique et bilan du krypton-85). »

M. BARBREAU : «A ce sujet, on envisage même de se servir du sous-sol, comme moyen de temporisation, pour le stockage provisoire des gaz contenus dans les enceintes des réacteurs en cas d'accident, plutôt que de les relâcher brusquement à l'extérieur. »

\* \* \*

**V — ORGANISATION PRATIQUE  
DU CONTROLE ET DE LA SURVEILLANCE  
DE LA POLLUTION RADIOACTIVE  
AUX ENVIRONS D'UN CIMETIÈRE RADIOACTIF**

*Président :*

J. Smeets (CCE, Luxembourg)



## 1 — PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG DER ÜBERWACHUNG EINES LAGERS

H. Krause (Deutschland BR)

Vor der Inbetriebnahme eines Endlagers für radioaktive Abfälle sollten neben Untersuchungen mit dem Ziel, die Eignung des Standortes nachzuweisen, auch Messungen des Nullpegels durchgeführt werden. Was am zweckmäßigsten zu untersuchen ist, muß von Fall zu Fall anhand der örtlichen Gegebenheiten bestimmt werden. Die Art des Lagers (Salzbergwerk, Vergraben usw.) sowie die Natur der Abfälle spielen für das Überwachungsprogramm eine große Rolle. In vielen Fällen wird man Untersuchungen des Grundwassers, der Niederschläge, des Bewuchses usw. machen.

Nach Inbetriebnahme des Lagers sind die Untersuchungen in regelmäßigen Abständen zu wiederholen. Bevor die Genehmigung zur Errichtung eines Lagers gegeben wird, sollte sichergestellt sein, daß die Kontrollen auch nach Beendigung der Einlagerung fortgesetzt werden. Wegen der langen Überwachungszeiträume und der nicht zu vernachlässigenden Kosten werden staatliche Stellen, wenn schon nicht für die Lagerung, so zumindest für die Überwachung, zweckmäßig sein.

Bei der *Lagerung in einer Salzformation* sind keine besonderen Überwachungsmaßnahmen erforderlich, sofern die Isolierung des Lagers vom Biozyklus gesichert ist. Lediglich bei der Lagerung von Gasen bzw. Abfällen, die gasförmige Radionuklide freisetzen können (z.B. nicht aufbereitete Brennelemente vom Typ „Kugelhaufen“), ist ein Luftüberwachungsprogramm erforderlich. Ist die Isolierung vom Grundwasser nicht völlig gesichert, so ist auch dieses zu überwachen.

Beim *Vergraben radioaktiver Abfälle im Boden* ist es angezeigt, Sickerwasser in Drainagegräben regelmäßig zu überwachen. Darüber hinaus sollte auch das Grundwasser an mehreren Stellen untersucht werden, insbesondere in Fließrichtung. Während des Einlagerungsbetriebes sollten auch Luft, Niederschläge und Bewuchs untersucht werden, da Kontaminationen durch unzureichend verpacktes oder äußerlich kontaminiertes Material, durch Freisetzung von Tritium, Radon usw. sowie durch Unfälle (Herabfallen

und Aufplatzen von Behältern, Brand usw.) nicht ganz auszuschließen sind. Selbstverständlich muß auch die Dosis an den zugänglichen Stellen kontrolliert werden.

## 2 — SURVEILLANCE DU DÉPÔT DE DÉCHETS RADIOACTIFS DE LA HAGUE : CENTRE DE LA MANCHE

J. Scheidhauer (France)

### a) Situation du Centre

Le Centre de la Manche, géré par la Société INFRATOME, est situé sur l'extension Est du Centre de La Hague. Dès que le stockage de déchets radioactifs solides a été envisagé, l'étude de ce site a été entreprise par le Service d'étude de sûreté radioactive du Commissariat à l'énergie atomique (SESR) déterminant les éléments essentiels de l'hydrogéologie du site.

Le dépôt s'étend sur la partie la plus élevée de la région qui forme une croupe de 160 à 180 m. Il s'agit donc d'une zone haute d'où partent les eaux de ruissellement vers le versant nord et le versant sud. Vers le nord se trouvent essentiellement le ruisseau de Sainte-Hélène et le ruisseau des Roteurs.

Ces ruisseaux gagnent la mer après un parcours d'environ 3 km à travers des villages et des pâturages et alimentent des abreuvoirs et des lavoirs.

La pluviométrie est assez forte et atteint annuellement près de 1 m. La nappe souterraine est une nappe superficielle indépendante de la nature des terrains. Elle est souvent située à faible profondeur, de l'ordre de quelques mètres. Ses variations sont relativement importantes et saisonnières (de 3 à 5 mètres à 12 mètres de profondeur). Dans la zone considérée, les exutoires sont tous sur le versant nord et sont représentés par des sources alimentant également les ruisseaux de Sainte-Hélène et des Roteurs. Le versant sud n'est pas intéressé par la zone de stockage.

Le cimetière prévoit pratiquement quatre sortes de stockage :

- stockage en surface de blocs de béton et fûts bétonnés avec couverture de terre gazonnée,
- stockage en tranchées simples drainées, de déchets de faible activité en fûts, en assurant une étanchéité en surface,



- stockage en cases de béton des autres déchets en fûts et des déchets en vrac,
- pour mémoire, des stockages provisoires de transit à l'extérieur ou sous hangar.

## b) Organisation de la surveillance

L'idée directrice a été de surveiller, à fréquence relativement élevée, les sources de pollution éventuelle, d'effectuer un contrôle plus léger sur les points plus éloignés et à risques de pollution, liées aux sources précédentes. Néanmoins est prévu et entretenu un réseau de points de mesure disponible en permanence.

Enfin, l'essentiel de la surveillance porte évidemment sur le réseau hydrologique souterrain et de surface, mais une surveillance atmosphérique de principe est effectuée.

L'application de ces principes généraux est légèrement infléchie par l'aspect psychologique du contrôle. Cela a conduit à mettre en place une station de contrôle en continu des eaux sur un ruisseau exutoire du site de stockage pour les eaux de surface.

Pratiquement, la surveillance a ainsi été définie :

Niveau	Point de prélèvement	Nature	Fréquence
Sources éventuelles de contamination	Puisard de tranchée drainée Tubes crépinés de fosse Collecteur de stockage en surface	eau (boue)	15 jours
Eau de ruissellement du Centre	Regard des caniveaux	eau (boue)	15 jours
Nappe sous-jacente du Centre	Forage	eau	mois
Exutoire eaux de surface	Bassin de décantation Station contrôle continu de Ste-Hélène	eau + boue	mois
		eau + boue	mois
Environnement	Ruisseau Ste-Hélène	eau + boue	mois
	Ruisseau des Roteurs	eau + boue	mois
	Forages extérieurs nord et est	eau	trimestre

La surveillance du site du dépôt a été inspirée de celle pratiquée sur le site industriel de La Hague dans laquelle elle est intégrée. Les relevés de hauteur de nappe font également partie du relevé systématique du réseau de piézomètres de l'ensemble du Centre. La surveillance des points d'enfouissement est assurée, tout d'abord, par des mesures fréquentes de dégrossissage effectuées par la société exploitante elle-même, des échantillons étant transmis à la section de protection contre les radiations de La Hague.

Enfin, un travail important dans son principe de prévention doit également être effectué pour définir le stockage auquel doit être affecté chaque lot de déchets. Le décret d'autorisation faisant une distinction d'un niveau de faible activité en prenant comme limite supérieure une activité spécifique volumique égale à 1 000 fois la CMA de l'eau potable (concentration maximale admissible — indiquée en annexe du décret du 15 mars 1967) —, il est souvent nécessaire d'effectuer des identifications et mesures lorsque, économiquement, les lots en valent la peine. Ce travail est évidemment fait en collaboration entre la société exploitante et le laboratoire spécialisé de La Hague.

Ce programme assez étoffé est actuellement en place. Il a permis de recueillir des informations intéressantes sur les variations que l'on peut qualifier de normales en dehors de toute influence du site de dépôt de déchets.

Il est bien évident qu'un allègement sensible doit être envisagé pour les contrôles extérieurs tant que les mesures sur les sources possibles de pollution donneront des résultats négatifs. La surveillance de celles-ci doit être pratique et souple, c'est-à-dire permettre un effort poussé chaque fois qu'une évolution peut être détectée. Toute détection de radioactivité doit en effet dans ce cas être accompagnée de déterminations complémentaires pour définir exactement le niveau de la nuisance et sa progression éventuelle.

### **c) Conclusion**

Le dépôt de déchets du Centre de La Manche doit être considéré comme la première expérience nationale industrielle de stockage de déchets. Sa présence sur un Centre de Commissariat lui permet un fonctionnement sûr et économique. Les choix économiques peuvent être assurés en toute sécurité avec des moyens propres de surveillance très restreints <sup>(1)</sup>.

---

(1) Des détails supplémentaires concernant la Société INFRATOME sont donnés en Annexe 6.

## *Discussion*

M. KÜHN : „Wie Herr Krause bereits vorhin erwähnt hat, ist bei der Salzlagerung eine eigentliche Überwachung der Umgebung in der hergebrachten Form, wie sie z.B. beim Vergraben angewendet werden muß, nicht erforderlich, da wir bei der Salzlagerung davon ausgehen, daß die Abfälle, die in einem Salzbergwerk untergebracht sind, keinerlei Verbindung mehr zu dem Biozyklus haben, d.h. also, daß die Umgebungsüberwachung nur zur Beweissicherung durchgeführt wird. Wir haben zu diesem Beweissicherungsprogramm an der Asse einige Arbeiten laufen, die wir schon begonnen hatten, als wir noch nicht mit der eigentlichen Einlagerung begonnen hatten, d.h. also, wir haben eine vorherige Erhebung gemacht.

Ich möchte vielleicht jetzt ganz kurz schildern, was wir im einzelnen durchführen. Wir haben ein hydrologisches Programm, das sich unterteilt, einmal in Umgebungsüberwachung und zum anderen in Grundwasseruntersuchung. Wir haben bei der Umgebungsüberwachung etwa 70 Meßstellen um den gesamten Höhenzug der Asse eingerichtet, hauptsächlich an Drainageausflüssen, Quellen, Bächen, Vorflutern und Brunnen. Dort werden regelmäßig die hydrologischen Parameter wie Temperatur, Dichte, pH-Wert und Leitfähigkeit gemessen. Außerdem werden regelmäßig Proben genommen, die einmal auf Aktivität untersucht und zum anderen chemisch analysiert werden.

Beim hydrologischen Forschungsprogramm werden zwischen 50 und 200 m Tiefe Bohrungen abgeteuft. In diesen Bohrungen werden zunächst Messungen über die Menge des Grundwassers, dessen Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit durchgeführt. Später werden auch diese Bohrungen zu hydrologischen Meßpegeln ausgebaut und alsdann in die Umgebungsüberwachung eingeschaltet.

Bei den routinemäßigen Aktivitätsuntersuchungen kontrollieren wir in vierteljährlichen Abständen die Trinkwasserversorgungsanlagen der umliegenden Gemeinden auf Aktivität, um auch hier der Bevölkerung eine vollkommene Sicherheit zu geben, daß nichts zu ihrem Nachteil geschieht, im Gegenteil, daß sie dadurch profitiert, daß wir nun eine genauere Kontrolle ihrer Wässer durchführen. Weiterhin haben wir eine Klimameßstelle im üblichen Sinne an der Asse errichtet, obwohl das eigentlich der letzte Weg wäre, über den irgendwelche Aktivitäten nach außen hin dringen können.

Des weiteren entnehmen wir in jährlichem Abstand Bodenproben, die auf Aktivität hin untersucht werden. Die Überwachung innerhalb der Grube erstreckt sich auf die Luftüberwachung. Dort werden an inter-

essanten Stellen diskontinuierlich Proben genommen, und zwar in wöchentlichen Abständen. Außerdem wird am Abwitterschacht, in dem die Luft aus der Grube abgesaugt wird, kontinuierlich die Aktivität überwacht. Weiter wird nach jeder Einlagerungsphase das entsprechende Gebiet auf Kontamination überwacht. Das wäre in kurzen Worten, was dazu zu sagen wäre.“

Sig. BRANCA : «Vorrei ritornare un istante sul concetto del destino dei radionuclidi immessi nell'ambiente ricettore con i rifiuti.

L'applicazione di un modello a compartimenti e delle relative formule permette di valutare le concentrazioni di un certo radionuclide nei vari componenti dell'ambiente e quindi le introduzioni e/o le esposizioni che derivano ai vari gruppi di popolazione interessata. Questo porta ad individuare il *gruppo o i gruppi critici*, cioè quelli cui corrisponde la più elevata tra tutte le esposizioni o introduzioni così calcolate, nonché *la via critica* cioè quella che contribuisce all'esposizione globale in maniera preponderante. *L'area critica* sarà infine la zona geografica attraverso cui si sviluppa ogni via critica sopra menzionata. Dalle stesse definizioni di via e area critica appare evidente come l'importanza di tali entità sia da porsi in relazione con le operazioni di sorveglianza e controlli. Queste ultime infatti potranno venire esercitate limitatamente a quelle parti dell'intero ambiente ricettore che sono la sede dei fenomeni più rilevanti di propagazione dei radionuclidi.

È evidente che l'esatta quantificazione della capacità ricettiva di un sito e l'individuazione degli elementi critici richiedono una mole trascurabile di studi e di ricerche preventive. Tuttavia questo impegno sarà a mio avviso ben ripagato perché si sfrutterà razionalmente un certo sito e si alleggeriranno al tempo stesso le spese di controllo successive, inerenti alla sorveglianza sanitaria dell'ambiente.»

M. VAN DE VOORDE : „Ik constateer dat men voor een opslagplaats in het algemeen zoekt naar een droge plaats, waar dus geen water aanwezig is. Aan de andere kant meet men voor controledoelcinden de eventuele besmetting van het water. Dit duidt op een zekere contradictie. Bovendien is de interactie in een droge situatie zeer verschillend met die van een natte situatie.“

M. SMEETS (Président) : „Inderdaad lijkt hier een paradoxale situatie aanwezig. Psychologische motieven spelen hierbij natuurlijk een belangrijke rol.“

M. SCHEIDHAUER : « Il faut préciser que le contrôle radiologique de l'environnement du Centre Infratome est assuré d'une manière classique (air, eau, végétaux) par le Centre de La Hague. Les renseignements obtenus sont fournis aux organismes de contrôle. Il y a un certain nombre de points de mesure « psychologique » (château d'eau du village voisin). »

M. KRAUSE : „Wir sind hier in keinem trockenen Gebiet. Das gilt im Grunde für ganz Europa. Die amerikanischen Vergrabungsstätten befinden sich allerdings auch nicht alle in ausgesprochen ariden Gegenden. Dort kann man natürlich davon ausgehen, daß kein Kontakt zwischen Wasser und den Abfällen vorhanden ist. Wir hier in Europa müssen jedoch davon ausgehen, daß Kontakt zum Wasser besteht, wenn man im Boden vergräbt. Natürlich wird niemand seine Abfälle ins Grundwasser einlagern. Wir haben jedoch auf alle Fälle die Niederschlagswässer, und die reichen schon aus, um eine gewisse Auflösung der Abfälle und ein gewisses Auslaugen der Rückstände zu bewirken.

Dann ein zweiter Punkt, der natürlich auch gesehen werden muß : Wir können noch so viele Untersuchungen an den Abfällen selbst machen, doch werden wir bei Laborversuchen in kurzer Zeit und unter idealisierten Bedingungen nie das ganze Spektrum erfassen, sondern nur einige generelle Punkte. Genau dasselbe gilt z.B. auch für Untersuchungen der Austauschkapazität des Bodens. Wenn wir in einer Kolonne Versuche machen, dann sind die Bedingungen von vornherein meistens schon nicht ganz repräsentativ. In der Natur treffen wir sehr häufig Störungen an. Was nützt die beste Austauschkapazität, wenn Klüfte oder ähnliches im Boden vorhanden sind. Diese bemerkt man meist erst durch die Umgebungsüberwachung. Die amerikanischen Erfahrungen bestätigen dies, nicht so sehr bei den Vergrabungsstätten, aber den Versenkbrunnen. Plötzlich ist durch solche Sprünge und Klüfte ein Vielfaches an Aktivität, als man aufgrund des Untersuchungsprogramms vorher vermutet hatte, weggegangen.“

M. VAN DE VOORDE : „Ik kan mij voorstellen dat men watermonsters neemt en dat men gelukkig is als men niets meet. Wat doet men echter als men werkelijk radioactiviteit meet. Wat zullen de praktische acties zijn in dat geval?“

M. SMEETS (Président) : „Een belangrijke factor is de wijze van drinkwatervoorziening in de omgeving van deze opslagplaatsen, bij voorbeeld te Ashe en te La Hague. Is deze drinkwatervoorziening openbaar of zijn er bij voorbeeld ook boerderijen met waterputten in de buurt? In het geval van openbare voorziening zal het bij voorbeeld minder moeilijk zijn om eventuele besmetting vast te stellen en zullen gemakkelijker adequate maatregelen kunnen worden getroffen.“

M. VAN DE VOORDE : „Ik ben het niet met de heer Krause eens, wanneer hij spreekt over een ongeval met een reactor en dat vergelijkt met een ongeval bij stockage. Dit is niet te vergelijken.”

M. SCHEIDHAUER fait quelques remarques personnelles :

- a) sur la contamination de la nappe d'un centre, qui n'est pas celui de La Hague, où nous avons eu un incident. Des déchets liquides se sont introduits dans la nappe au cours d'un rejet accidentel. Cette activité a été conservée et existe encore d'après les résultats qui me sont communiqués périodiquement;
- b) les études de sûreté effectuées sur l'hydrologie superficielle et souterraine de La Hague ont amené à poser le problème de l'action à entreprendre si une montée d'activité était décelée. La localisation exacte des déchets peut permettre d'espérer une bonne identification de la zone génératrice de pollution. La seule action économique possible semble être la récupération de ces déchets. Mais nous aurons toujours affaire à des cas d'espèce. Ce seront finalement les responsables de la sécurité radiologique qui devront se charger de l'opération de sauvegarde. »

M. BOVARD : « Je suis du même avis que M. Scheidhauer au sujet du stockage dans le temps. A Marcoule, nous avons stocké en surface et non pas en profondeur, nous avons une nappe très « filante » de sable, nappe alluviale du Rhône, et c'est la raison pour laquelle les déchets n'ont pas été enterrés. Le jour où il y a eu l'incident, l'activité s'est fixée sur le sable et s'est relarguée de façon homogène. Maintenant, l'équilibre s'est rétabli et le sable relâche, chaque jour, une certaine radioactivité. »

Sig. NARDI : « *A proposito del controllo ambientale e delle analisi dei rischi derivanti dall'infossamento in trincee.* »

Controllo ambientale : qualora l'unico fine di tale controllo sia la valutazione della dose attribuita alla popolazione, sarebbero sufficienti solamente delle misure sull'ultimo compartimento del sistema (es. latte, vegetali, ecc.); ma tali misure non possono essere considerate, proprio perché effettuate sull'ultimo anello della catena, come misure preventive; allora è bene, anche per sapere preventivamente cosa accadrà, eseguire delle misure di controllo sul primo anello, e cioè sulle acque sotterranee.

Per quanto riguarda l'analisi dei rischi, si segue, in Italia, questa via : allorché un esercente chiede l'autorizzazione per l'installazione di un impianto nucleare, egli deve effettuare un'analisi dei rischi conseguenti

per i lavoratori e per i membri della popolazione che risiede nelle immediate vicinanze dell'impianto.

Il grado di perfezione dell'analisi dipende ovviamente dall'importanza dell'impianto e dalla entità dei suoi scarichi.

Si possono comunque cogliere due momenti particolari :

1. valutazione teorica e quindi cautelativa, sulla ricettività dell'ambiente circostante;
2. valutazione sperimentale dell'effettiva ricettività.

Qualora l'entità degli scarichi previsti risultasse molto inferiore alla ricettività calcolata come al punto 1., si chiedono all' esercente semplicemente misure di verifica.

Se invece l'entità degli scarichi previsti è prossima al valore teorico della ricettività, si obbliga l' esercente ad effettuare lo studio sperimentale di cui al punto 2., la cui estensione e dettaglio saranno tanto più spinti quanto più alta sarà la richiesta di scarico.

È ovvio, che è compito dell'autorità competente eliminare al massimo i cosiddetti « scarichi indebiti ». »

M. SMEETS (Président) : „Ik vrees een enorme escalatie bij de opbouw van meetprogramma's, wanneer we met al deze factoren rekening zullen gaan houden, hoezeer ik ook in het kader van de gezondheidsbescherming de noodzaak van een aantal beschermingsmaatregelen ondersteun.

In dit verband zou ik nogmaals kunnen wijzen op het rapport nummer 7 van de ICRP inzake het onderzoek naar kritische nucliden en kritische wegen. Bovendien verwijs ik ook graag naar de economische aspecten (cost/benefit) reeds eerder vermeld door de heer Mechali.”

M. MECHALI : « Je ne sais quelle réaction avoir à ce que vous venez de dire. Je crois que le programme de surveillance doit être raisonnable et qu'on doit éviter une inflation. Au début de l'énergie nucléaire, le programme de surveillance était un programme large, extrêmement abondant et excessif. Maintenant, on a tendance à faire des programmes raisonnables. Il faut adapter la surveillance aux modes d'atteinte de l'homme.

Il est certain qu'avec les temps de transit des radio-éléments dans le sol, on ne verra les radioéléments qu'après un temps de latence assez long. La surveillance permanente doit fournir, en dehors des informations destinées à juger la situation actuelle sur le plan sanitaire, des renseignements permettant de faire des prévisions à moyen et long terme sur l'évolution de la radioactivité dans les eaux utilisées. »

M. CANTILLON : « Je partage les points de vues de M. Mechali. Il faut éviter de choisir des sites dans lesquels les variations d'apport d'eau peuvent être très brutales.

Si l'on peut faire des prélèvements, nous avons les garanties de surveiller la situation. Il me paraît réconfortant de connaître la méthode de l'évolution d'une situation. »

M. BERLIN : « Je voudrais demander à M. Krause des renseignements sur la gestion de la mine de sel. »

M. KRAUSE : „Das Salzbergwerk Asse wird von der Gesellschaft für Strahlenforschung in Neuherberg betrieben. Das ist eine 100-%-Bundesgesellschaft mit dem Status einer GmbH. Es gibt im Grunde kein Gesetz oder gesetzliche Regelung, die erlaubt oder verbietet, daß im Salzbergwerk Asse Abfälle gelagert werden. Für die Lagerung radioaktiver Abfälle in der Asse wurde genau das gleiche gemacht, was auch bei allen andern kerntechnischen Anlagen geschieht, nämlich, daß man eine Genehmigung beantragt. Die erhält man bei uns in Deutschland von Land zu Land bei unterschiedlichen Behörden und aufgrund eines Sicherheitsberichts, in dem dargelegt wird, welche Arten und welche Mengen von radioaktiven Stoffen gehandhabt oder gelagert werden, und in dem alle denkbaren Unfälle, Zwischenfälle und dergleichen analysiert werden. Im Falle des Salzbergwerks Asse ist die unmittelbare Aufsichtsbehörde das Bergamt, da für die Sicherheit jedes Bergwerkes die Bergbehörden zuständig sind. Der Aufgabenbereich dieser Behörde ist erweitert worden, so daß auch die Sicherheit der Lagerung radioaktiver Abfälle dazugehört. Die übergeordnete Behörde zu den Bergbehörden ist in diesem Falle das Wirtschaftsministerium in Niedersachsen.“

M. BARBREAU fait quelques commentaires sur les problèmes de contrôle : « Plusieurs experts ont dit qu'il faut éviter de faire des contrôles exagérés. Il faudrait examiner de quelle façon sont définis ces contrôles. En général, quand une étude de stockage est faite convenablement, on définit l'enveloppe du risque, c'est-à-dire les paramètres de transfert. A partir de ces paramètres qui sont le résultat de deux éléments, d'une part, la mise en mouvement de la radioactivité possible par les eaux souterraines et, d'autre part, la rétention par le sol. On définit donc le risque que présente le site; il est plus ou moins grand et quasi nul pour certains sites. On définit l'importance des contrôles effectués sur le site. Lorsque la nappe se déplace lentement, il n'y a pas de sens à multiplier les points de contrôle; si, par contre, les phénomènes de transfert sont prépondérants et l'écoulement de la nappe très rapide, on multipliera ces contrôles, afin de pouvoir suivre



le destin de cette radioactivité dans le sol. Ceci est valable pour les sites de surface. Le deuxième aspect dans le site est le confinement final, compte tenu qu'il pleuvra et qu'il y a des eaux souterraines. Pour des stockages dans le sel, comme celui dont a parlé M. Krause, qui est un milieu totalement sec, je considère que les contrôles, à part celui de la cavité de la mine, sont principalement psychologiques. Pour qu'il y ait un risque quelconque pour les eaux entourant la mine dans laquelle sont déposés les déchets, il faudrait que la mine soit inondée. S'il y a simplement des venues d'eau, l'eau ne ressortira pas, car sa pression est plus grande à l'extérieur qu'à l'intérieur. Elle ne peut qu'entrer. Pour avoir une possibilité de déplacement de la radioactivité vers l'extérieur par l'intermédiaire de l'eau qui aurait pénétré dans la mine, il faudrait que celle-ci soit entièrement remplie d'eau. Même si cette condition est remplie, il n'est pas sûr que la radioactivité se déplacera, car la mine ou la cavité est en liaison avec l'extérieur par des puits ou forages qui sont prévus étanches. En fin de compte, il y a peu de chances pour une migration importante de la radioactivité à partir de la mine. Je pense que les contrôles envisagés autour de la mine ne servent qu'à tranquilliser la population.

Je crois formellement que si on limite les dépenses liées au contrôle, en fonction des études préalables de sûreté radiologique qui sont faites sur les sites, ces contrôles doivent être limités au strict minimum compatible avec la sécurité. Il y aura toujours, peut-être malheureusement, un aspect psychologique pour faire des contrôles que les experts savent parfaitement inutiles. Je pense, par exemple, au problème de l'injection profonde à grande profondeur : technique que l'on considère vraiment intéressante du point de vue économique et de sûreté radiologique. Il y a des puits de contrôle aux alentours de ces injections, cela n'a aucun intérêt sérieux, car le problème des déchets en nappes profondes se pose sous l'angle de la sûreté radiologique par certains aspects particuliers. Pour l'injection, s'il y a des risques, on l'exclut ou, au contraire, on l'effectue s'il n'y a pas de risque. Il n'y a que ces deux choix.»

M. SMEETS (Président) : „Ik dacht niet dat de controle alleen maar psychologisch was. Immers zodra we een hoog radioactieve afvalstof gaan opslaan in de mijn, die weliswaar in droge omstandigheden verkeert, verandert er iets aan de mijn, bij voorbeeld ten aanzien van de aanwezige warmtehoeveelheid. Ik geloof niet, dat dit veranderingen met zich brengt ten opzichte van het grondwaterniveau, maar toch moeten we rekening houden met mogelijke veranderingen.”

Quelques experts ont soulevé le problème du tritium rejeté à l'état liquide. Certaines centrales rejettent de l'eau tritiée en quantité importante et des fleuves risquent d'être saturés sur un certain parcours. Des études

sur l'aspect biologique du tritium devraient être entreprises afin de déterminer les normes admissibles.

M. VAN DE VOORDE : „De radiologen zijn het nog niet eens over de reconcentratie van het tritium in het menselijk lichaam. Eerst zullen zij hiermee klaar moeten zijn, alvorens wij zullen bestuderen hoe het tritiumoxyde te scheiden van het waterstofoxyde. Het is bijna een onoplosbaar probleem, zelfs het injecteren van dit water op grote diepte is economisch bijna niet denkbaar. Bovendien moet men eerst de toelaatbare concentraties herzien. Immers zoals ze nu zijn, mag men veel tritium lozen in de rivieren.“

M. KRAUSE : „Zum Anteil des Tritiums möchte ich folgendes bemerken : Nennenswerte Mengen an Tritium entstehen an zwei Punkten : einmal bei den Schwerwasserreaktoren. Da findet man immer Lösungen mit so geringen Konzentrationen an schwerem Wasser, daß es sich nicht mehr lohnt, diese aufzubereiten, und die dann abgeleitet werden müssen. Hier können beachtliche Mengen an Tritium entstehen und abgeleitet werden. Nun sind die Schwerwasserreaktoren nicht so im Kurs, daß wir hier ein Problem zu erwarten hätten. Die zweite Quelle für Tritium sind Wiederaufbereitungsanlagen. Natürlich können kleine Wiederaufbereitungsanlagen ihr Tritium in Flüsse ableiten, aber bei einer Tausend-Tonnen-Anlage ist es sicherlich nicht mehr möglich, das Tritium noch in Flüsse abzuleiten. Man hat dann nur zwei Möglichkeiten : entweder, solche Anlagen direkt an das Meer zu legen, wie man es aus verschiedenen anderen Gründen auch schon tut. Wenn das nicht möglich ist oder nicht gewünscht wird, muß man diese Tritiumwässer in tiefe Schichten im Boden versenken.“

M. SCHEIDHAUER : «La solution est le rejet en mer pratiqué en France.»

M. PRADEL : «Une technique utilisée à Saclay pour de faibles quantités de tritium consiste à l'évaporer et à le rejeter dans l'atmosphère.»

M. KRAUSE : „Ich möchte noch ein Wort hinzufügen : Es gibt amerikanische Studien, die davon ausgehen, daß man das Tritium von dem Augenblick an, wo man es nicht mehr in Flüsse ableiten kann, verdampft und in die Atmosphäre leitet. Dieses kann sicherlich weit länger praktiziert werden als die Ableitung in Flüsse.“

M. CANTILLON : «Évaporer et rejeter dans l'atmosphère est parfois une solution, mais la mer et l'atmosphère appartiennent à tout le monde. Or, la production de tritium dans les centrales nucléaires de puissance est considérable et l'activité de l'eau à rejeter peut dans, bien des cas, avant

dilution, dépasser de loin les 300 000 pCi/l. Le problème existe et je crois qu'il faut développer des études et orienter les programmes de radiobiologie dans ce sens.»

Sig. NARDI : « L'esperienza italiana per il tritio è scarsa. Ce ne siamo occupati per gli impianti di ritrattamento di combustibile, dove le quantità di tritio sono dell'ordine di 500 curies/anno. Abbiamo in Italia due centrali nucleari, una vicina al mare e una sul fiume : il tritio viene rigettato nel fiume, e il centro di Ispra scarica nel lago Maggiore. La ricettività in tritio nelle acque del lago è molto superiore alle possibilità del centro stesso. Penso comunque che il problema del tritio come quello del Krypton deve essere esaminato.»

M. KAYSER : « Comme indiqué par M. Krause, retenir l'eau tritiée d'après la méthode indiquée, lorsque la fusion contrôlée deviendra industrielle, sera très laborieux.»

M. PRADEL : « Je voudrais revenir sur les critères de choix d'un site. Peu de gens dans cette salle me semblent effrayés par les conséquences sanitaires à court terme d'un stockage fait avec un minimum de précautions et un minimum d'études. Je pense qu'ils ont raison. Mais on a tendance à oublier l'aspect immobilisation de la zone de stockage avec les contraintes associées pour des siècles. Ceci est inévitable, mais il faut en être conscient. C'est pourquoi il faut limiter le nombre de cimetières en consentant une certaine dépense de transport; il faut aussi maintenir un contrôle léger et surtout établir un dossier avec plan de stockage et inventaire précisant la nature et l'activité des produits. Ceci est difficile mais indispensable. Moyennant ces précautions, les contraintes sont admissibles. Il sera alors possible, par exemple, de construire des immeubles sur le site de La Hague dans quelques siècles si l'on connaît encore bien la disposition exacte des lieux; on pourra de même exploiter des minerais ou du sel près du dépôt de la mine allemande; encore faudra-t-il se rappeler par exemple qu'il est dangereux d'inonder cette mine ou d'exploiter le sel par dissolution. Ce qu'il faut éviter à nos descendants, c'est de les placer dans une situation semblable à celle rencontrée par ceux qui ont démoli les vieux forts de la région parisienne et ont fait exploser des obus enterrés dont tout le monde ignorait l'existence. Quand on connaît exactement la situation, le problème est toujours soluble.

En ce qui concerne les sites communautaires, je ne sais pas s'ils sont vraiment nécessaires, mais s'il en est ainsi, je voudrais faire une suggestion :

L'opinion publique admettra difficilement que l'on crée un seul site dans l'un des pays. Par contre, en se basant sur des considérations écono-

miques et sur le fait qu'il faut limiter le nombre des cimetières pour éviter les contraintes imposées aux générations futures, on peut justifier la création de plusieurs centres spécialisés. A titre d'exemple, on pourrait imaginer de mettre les déchets de haute activité dans la mine allemande, les faible et moyenne activités à La Hague et peut-être aussi de créer en Italie un centre pour rejet en mer aux bords des côtes italiennes. Je verrais plutôt pour ma part, d'ailleurs, ce dernier centre spécialisé dans les déchets de très longue période de faible activité ou moyenne activité pour éviter les contraintes terrestres pratiquement éternelles. Car il me semble qu'il vaut mieux accepter les contraintes éternelles pour des sédiments dans des fosses sous-marines profondes; l'exclusion des hautes activités permettra d'éviter le problème de pollution générale des mers.»

M. SMEETS (Nederland) : „Zijn de moeilijkheden, die wij zo juist weer gehoord hebben, niet veel kleiner wanneer we de oceaan voor dumping gebruiken? De psychologische problemen zullen dan ook minder groot zijn, dan wanneer we radioactieve afvalstoffen gaan vervoeren van het ene land naar het andere. Ook de kostenfactor zal aanmerkelijk minder zijn. Op internationaal gebied zou men dan ook kunnen werken aan een standaardisering van de verpakking en het transport, misschien een centralisering van de verwerking van voornamelijk hoog-radioactieve stoffen. Op deze wijze wordt ook dupliceren vermeden. Gezamenlijk zijn deze problemen gemakkelijker op te lossen dan afzonderlijk.”

M. PRADEL : « Je vous rappelle une précision qui concerne Infratome. S'il y avait une demande étrangère pour stocker des déchets, cette demande parviendrait au CEA pour approbation. Il n'y a pas de loi qui empêche le CEA de donner, éventuellement, son accord.»

\*  
\* \*

**VI — ALLOCUTION DE CLOTURE**



M. SMEETS (CCE, Président) : „Aan het einde van dit uitermate interessante colloquium en van de discussies past het mij U allen te danken voor de wijze waarop U deelgenomen hebt aan de gedachtenwisseling. Zelf actief werkzaam zijnde op het gebied van gezondheidsbescherming ben ik bijzonder gelukkig met het feit, dat deze discussies hebben plaatsgevonden en de wijze waarop zij gehouden zijn. Het doel, dat wij ons gesteld hadden, namelijk om de sanitaire aspecten te leren kennen van de opslag van radioactieve afvalstoffen, is beantwoord. Ik weet dat we niet in alle opzichten bevredigende antwoorden gekregen hebben. Dat was ook niet te verwachten en dat is ook niet zo belangrijk. Belangrijk is, dat we door deze uitwisseling van gedachten een inzicht gekregen hebben in de aard van de problemen en eventueel ook ten aanzien van de mogelijke oplossingen.

Resumerend mag ik U er nog op wijzen, dat, gezien het karakter van deze vergadering, het niet de bedoeling is om aanbevelingen op te stellen. Verschillende ontwikkelde gedachten zullen worden bestudeerd, en bekeken zal worden in hoeverre zij voor verdere ontwikkeling in aanmerking kunnen komen. Veel interessante aspecten zijn naar voren gekomen, waarbij zeker niet in de laatste plaats gewezen dient te worden op de wenselijkheid de mogelijkheden na te gaan van een intensieve internationale samenwerking op dit gebied. Dit betreft zowel een onderzoek naar de mogelijkheden van een gemeenschappelijke opslagplaats te land, als normalisatie-activiteiten, bijvoorbeeld op het gebied van de verpakking, transport en eventueel verwerking. Volumebeperking en onderzoek dienaangaande blijkt zeer gewenst te zijn naast verdere onderzoeken omtrent de conditionering.

Psychologische overwegingen met betrekking tot de publieke opinie blijken een zeer zware belasting te leggen op de liquidatie van deze afvalstoffen. Het aantal continentale opslagplaatsen is thans in de Gemeenschap nog zeer beperkt. Het verdient aanbeveling de politieke, economische, sanitaire, psychologische en praktische aspecten te onderzoeken om tot een gezamenlijke oplossing te komen op communautair niveau.

Ik volsta met dit korte resumé gezien de veelheid van de behandelde problemen en omdat anders de kans groot is te zeer in details te vervallen. Tot besluit dank ik U allen nogmaals bijzonder voor Uw medewerking, die geleid heeft tot deze uitermate vruchtbare gedachtenwisseling.”

## LISTE DES PARTICIPANTS

## BELGIQUE — BELGIË

Cantillon, C.	Ministère de la santé publique	14, rue Wytsman 1050 Bruxelles
Van de Voorde, N.	CEN - Mol	Boeretang 200 Mol

## LUXEMBOURG

Kayser, P.	Direction de la santé publique	1, rue Aug. Lumière Luxembourg
------------	-----------------------------------	-----------------------------------

## BR DEUTSCHLAND

Krause, H.	Ges. f. Kernforschung	Weberstraße 5 Karlsruhe
Kühn, K.	Ges. f. Strahlenforschung München	Bornhardtstr. 22 D. 3392 Clausthal- Zellerfeld
Mehl, J.	Bundesministerium f. Bildung u. Wissenschaft	Heußallee Z. 10 53 Bonn

## FRANCE

Sousselier, Y., Président	CEA/CEN - FAR	B.P. No. 6-92 Fontenay-aux-Roses
Barbreaux, A.	CEA/CEN - Saclay	148, rue de Lourmel Paris XV <sup>e</sup>
Bovard, P.	CEA/CEN - FAR	B.P. N° 6-92 Fontenay-aux-Roses
Farges, L.	CEA/CEN - FAR	B.P. N° 6-92 Fontenay-aux-Roses
Manquene, J.	CEA	29, rue de la Fédération Paris XV <sup>e</sup>
Mechali, D.	CEA/CEN - FAR	B.P. N° 6-92 Fontenay-aux-Roses
Pradel, J.	CEA/CEN - FAR	B.P. N° 6-92 Fontenay-aux-Roses
Scheidhauer, J.	CEA/La Hague	B.P. N° 209-50 Cherbourg

## ITALIA

Branca, G.	CNEN	CSN Casaccia
Lenzi, G.	CNEN	CSN Casaccia 00060 Maria di Galeria Roma
Nardi, A.	CNEN	Viale Regina Margherita 125 00198 Roma
Tosi Beleffi	Ministero dell'Interno DGSA e PC	Via A. de Pretis Roma



## NEDERLAND

Seegers, G.	Ministerie van Sociale Zaken en Volksgezondheid	Dokter Reyersstraat 8 Leidschendam
Smeets, L.	RCN	Reactor Centrum Nederland Petten (NH)

## COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Smeets, J., Président	DG Affaires Sociales Dir. Protection Sanitaire	29, rue Aldringen Luxembourg
Amavis, R., secrétaire de la réunion	DG Affaires Sociales Dir. Protection Sanitaire	29, rue Aldringen Luxembourg
Berlin, A.	DG Affaires Sociales Dir. Protection Sanitaire	29, rue Aldringen Luxembourg
Fontaine, G.	DG du Centre commun de recherche	21 020 ISPRA (Italie)
Grison, G.	DG du Centre commun de recherche	23, av. de la Joyeuse Entrée 1040 Bruxelles

## ANNEXE II

### SOCIETE INFRATOME

#### 1. Constitution et objet de la société

INFRATOME est une société anonyme créée par Azote et Produits Chimiques, à la demande du Commissariat à l'énergie atomique, pour assurer les opérations d'enlèvement et de stockage définitif des déchets radioactifs solides.

INFRATOME assure les mêmes opérations au profit des centrales nucléaires de l'Électricité de France ou d'autres utilisateurs (hôpitaux, laboratoires publics et privés, industriels, etc.).

#### 2. Organisation de la société

##### *Siège social*

Les services de direction sont implantés à Paris (10, avenue George V, Paris 8<sup>e</sup>) ainsi que les services assurant l'organisation des enlèvements de déchets.

##### *Centre de stockage*

Le Centre de stockage définitif des déchets est situé dans le département de la Manche, à proximité du Centre de la Hague du Commissariat à l'énergie atomique, sur un terrain appartenant au Commissariat à l'énergie atomique et loué à INFRATOME.

#### 3. Opérations de collecte

Dans la plus grande majorité des cas, le conditionnement pour le transport est effectué par l'organisme producteur qui assure également le ramassage et le chargement sur les véhicules de transport.

Dans le cas de petits producteurs dispersés, le ramassage et éventuellement le conditionnement peuvent être effectués par la société INFRATOME.

#### 4. Transports

Le conditionnement des déchets radioactifs est tel que les normes nationales de transport des matières dangereuses radioactives sont respectées.

Il s'agit de fûts métalliques de 200 ou 100 litres, ou de blocs de béton de plusieurs tonnes.

Le transport est effectué par chargements complets, par des camions capables de transporter des poids de 20 à 22 tonnes, ou 240 à 250 fûts de 200 litres.

Les enlèvements sont effectués jusqu'à des centres situés à environ 1 000 kilomètres de distance du lieu de stockage définitif.

#### 5. Centre de stockage

En plus des installations de stockage proprement dites, le Centre comporte les services nécessaires aux diverses opérations administratives et techniques (protection contre les rayonnements, décontamination, tri).

Les organismes de protection contre les rayonnements assurent :

- la surveillance des personnes (à l'intérieur du site);
- le contrôle des déchets arrivant au site;
- le contrôle et la décontamination des engins et véhicules de manutention et de transport;
- le contrôle de l'environnement.

##### *Moyens de stockage*

La superficie de l'ensemble du Centre est de 12 hectares actuellement.

Avant stockage définitif, les déchets radioactifs sont réceptionnés dans un hangar de stockage provisoire qui permet d'assurer la répartition selon les différents modes de stockage, et surtout de faire le relais entre arrivages et stockage définitif.

La capacité de ce hangar est de 15 000 à 20 000 fûts métalliques de 200 litres.

##### *Stockage définitif*

- a) Les déchets qui sont conditionnés de telle sorte que le léchage par les eaux ne présente pas de danger (blocs de béton et fûts bétonnés), sont stockés en terre directement.
- b) Les déchets contenus en fûts métalliques (ordinaires), à condition que leur radioactivité soit faible, sont stockés en terre, en tranchée, sous réserve d'une étanchéité de surface (plastique) et d'un drainage du fond permettant le cas échéant, un pompage des eaux de la nappe aquifère en cas de montée importante.
- c) Les déchets contenus en fûts métalliques, autres que de faible activité, et les produits en vrac sont stockés en cases de béton.
- d) Une presse de compactage est en cours d'installation et permettra de réduire le volume des déchets avant leur dépôt en stock définitif.

*Nota :* Sont dits de faible activité les déchets dont l'activité volumique en Ci/m<sup>3</sup> est inférieure à 1 000 fois la C.M.A./eau (Concentration Maximum Admissible dans l'eau de boisson) des radionucléides contenus.

#### 6. Programme réalisé

Les opérations d'enlèvement de déchets radioactifs ont débuté en janvier 1969.

Les quantités enlevées en 1969 correspondent à l'équivalent de 30 000 fûts métalliques de 200 litres, soit :

- un volume de 6 000 m<sup>3</sup>,
- un tonnage de 5 000 tonnes.

La quantité d'activité correspondante représente environ 8 000 Curies.

La distance parcourue par les véhicules de transport en 1969 s'élève à environ 22 000 km.