

<b>Zeitschrift:</b>	Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
<b>Band:</b>	156 (1976)
<b>Rubrik:</b>	Symposia

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## B. Symposia

1. Schweizerische Gesellschaft für Automatik  
Association Suisse pour l'Automatique ASSPA

### Croissance et dégradation des grands systèmes socio-économiques

M. Cuénod (Genève): Compte rendu

#### Introduction

L'étude de la croissance des systèmes socio-économiques est à l'ordre du jour; cette croissance peut être caractérisée par la variation de l'une ou l'autre des variables d'état qui décrivent l'évolution d'un système, par exemple:

- le chiffre d'affaire d'une entreprise industrielle,
- la consommation d'électricité fournie par un réseau électrique,
- le produit national brut d'un pays, etc.

Ces variations peuvent être classées en 4 catégories:

- variations de *caractère aléatoire* quand la grandeur d'état prise en considération résulte de la superposition d'un grand nombre d'événements individuels, tels l'enclenchement des consommateurs d'un réseau électrique;
- fluctuations de *caractère cyclique* résultant de la succession des périodes de haute puis de basse conjoncture que connaît l'économie de tout pays;
- variations résultant de *modifications structurelles* internes et externes d'un pays ou d'un groupe de pays;
- variations à long terme caractérisant la *tendance générale* du phénomène de croissance pris en considération.

L'examen de l'évolution d'un grand nombre de systèmes socio-économiques montre que si on prend en considération une période suffisamment longue, les trois premiers types de variation peuvent être considérés comme des incidents qui ne changent pas l'allure générale du phénomène.

Dans de nombreux cas, ce phénomène peut être caractérisé par une courbe en S selon le principe représenté par la *fig. 1* et pour laquelle on peut reconnaître 4 périodes:

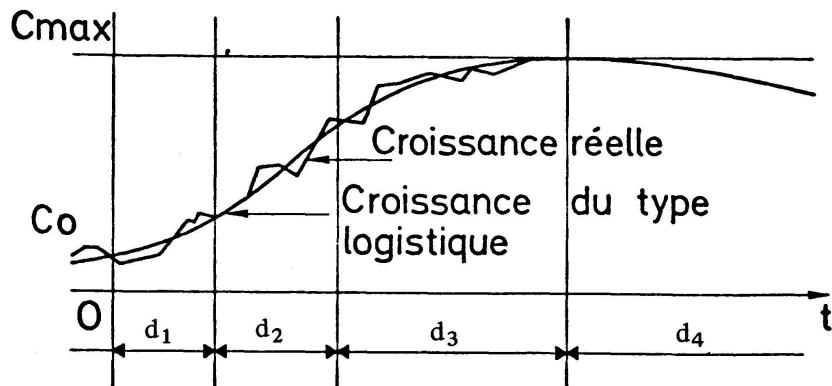


Fig. 1 Exemple de la courbe de croissance de la grandeur  $C(t)$

- une période  $d_1$  de “*démarrage*” avec une croissance plus que proportionnelle avec le temps,
- une période  $d_2$  de “*vitesse de croisière*” au cours de laquelle la croissance est proportionnelle au temps,
- une période  $d_3$  de “*saturation*” au cours de laquelle le phénomène tend vers une valeur constante,
- une période  $d_4$  de “*stabilité, voire dégradation*” au cours de laquelle le phénomène tend à décroître progressivement ou brusquement.

La première partie du workshop a été consacrée à la présentation d'une méthode d'analyse du phénomène de croissance; la deuxième à une réflexion sur les phénomènes de décroissance et dégradation de phénomènes socio-économiques.

### 1. Analyse du phénomène de croissance

Le modèle mathématique qui permet de décrire de nombreux phénomènes de croissance est la courbe “logistique” définie par l'expression mathématique suivante:

$$C(t) = \frac{C_{\max}}{1 + ae^{-bt}}$$

avec  $C_{\max}$  = valeur de plafond

$$a = \frac{C_{\max}}{C_0} - 1$$

$C_0$  = valeur initiale du début de la période d'observation

$b$  = taux de croissance initial.

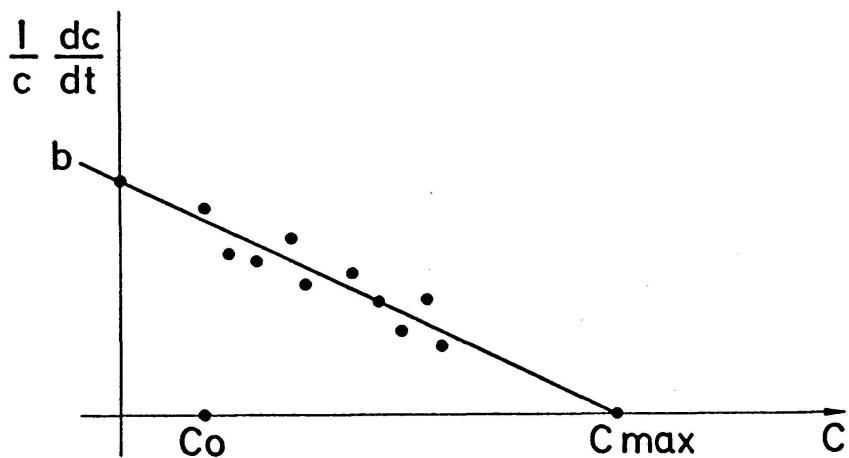


Fig. 2 Détermination des 2 paramètres  $C_{\max}$  et  $b$  caractéristiques d'une courbe logistique

Le taux de croissance annuel correspondant à la courbe logistique est une droite décroissante représentée par la *fig. 2* et définie par l'expression suivante:

$$\text{taux de croissance annuel: } \frac{1}{C(t)} \frac{d C(t)}{dt} = \frac{b}{C_{\max}} (C_{\max} - C(t))$$

Cette droite coupe l'axe des abscisses à la valeur  $C_{\max}$  et l'axe des ordonnées à la valeur  $b$ ; elle peut donc être utilisée pour identifier la valeur numérique de ces deux paramètres en procédant de la manière suivante:

- calculer les taux d'accroissement moyens (pour réduire l'influence des variations aléatoires et cycliques)

$$\frac{C_m}{C(t)} = \frac{C(t+k) - C(t-k)}{2k C(t)}$$

avec  $k = 2$  à  $5$  selon l'amplitude des variations à filtrer

- porter les points en fonction des valeurs annuelles  $C(t)$
- si les points obtenus s'alignent autour d'une droite, on peut en conclure que le phénomène pris en considération est du type logistique,
- l'expression mathématique de cette droite peut se déterminer par la méthode des moindres carrés et l'intersection de cette droite avec les axes de coordonnées donne les 2 paramètres cherchés  $C_{\max}$  et  $b$ .

Les *fig. 3 à 5* donnent, à titre d'exemple, l'application de cette méthode à l'analyse de 2 phénomènes de croissance pris en Suisse:

- nombre des ordinateurs installés en Suisse
- consommation d'électricité du canton de Genève.

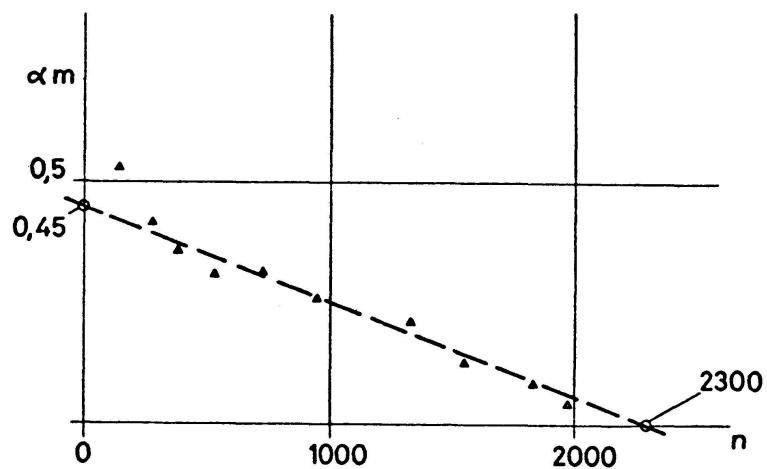


Fig. 3 Valeur moyenne  $\alpha_m$  du taux d'accroissement annuel du nombre  $n$  des ordinateurs installés en Suisse.

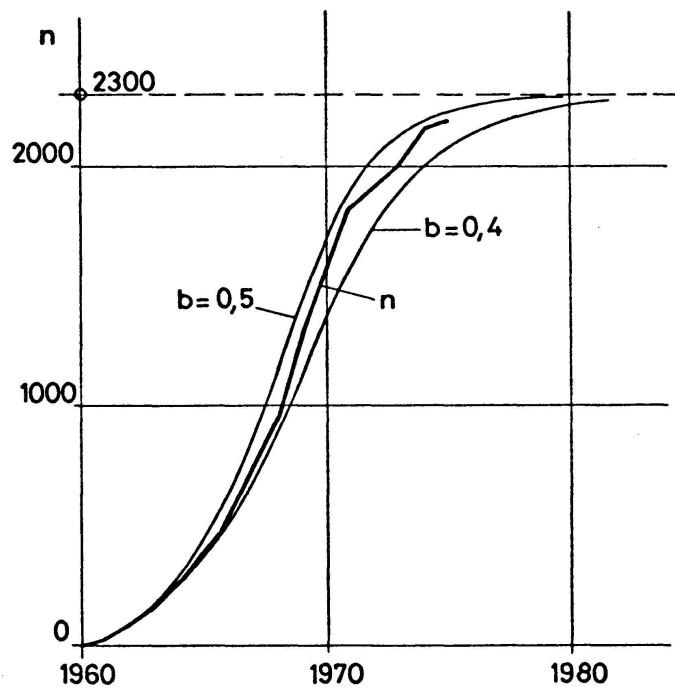


Fig. 4 Evolution du nombre  $n(t)$  des ordinateurs installés en Suisse et approximation de cette évolution selon une courbe logistique avec  $b = 0,4$  et  $0,5$  et  $n_{\max} = 2300$

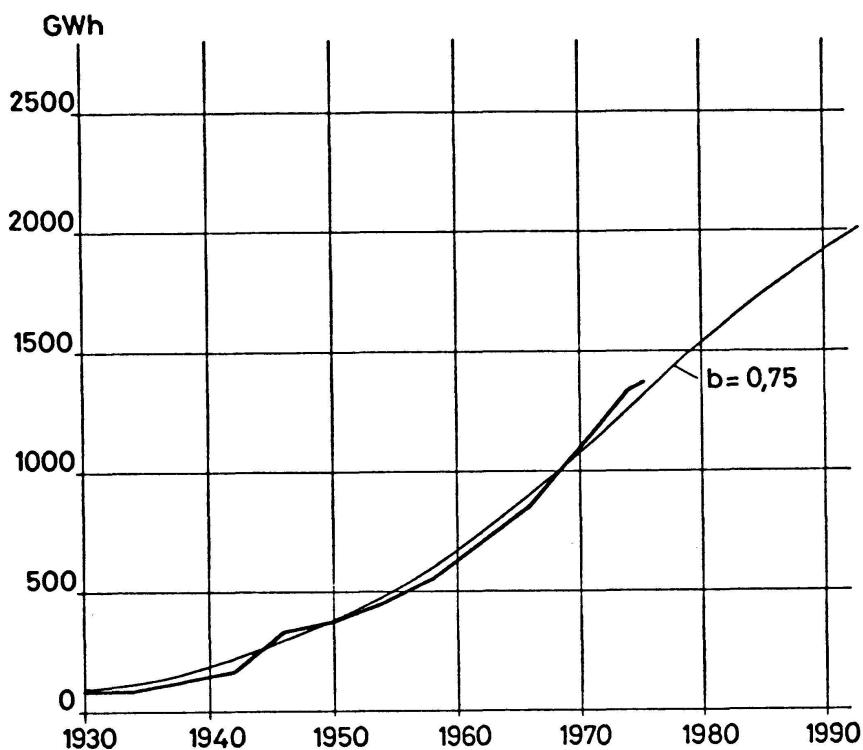


Fig. 5 Evolution de la consommation d'électricité du canton de Genève (très fort, CERN non compris) et approximation de cette évolution par une courbe logistique avec ( $b = 0,75$ ) et  $C_{\max} = 2500$  GWh

Un des avantages de cette méthode est qu'elle permet de caractériser un phénomène de croissance par une expression mathématique simple avec seulement 2 paramètres numériques facilement identifiables; elle permet également d'établir des comparaisons entre plusieurs phénomènes de croissance et de déceler si on peut reconnaître un phénomène de saturation et cela bien avant qu'il ne se produise effectivement. Elle doit être cependant maniée avec beaucoup de prudence comme méthode de prévision.

## 2. Analyse des phénomènes de décroissance et de dégradation

S'il est relativement aisé de définir un modèle mathématique qui décrive la façon dont une croissance s'est déroulée dans le passé, il est par contre beaucoup plus malaisé de définir ce qui se passe en 4ème phase lorsqu'un plafond a été atteint.

Les modèles socio-économiques développés sur l'impulsion du Club de Rome ont mis en évidence que la limitation des ressources disponibles et les contraintes de l'environnement conduiraient inévitablement à un arrêt de l'expansion économique puis à une décroissance par suite de l'épuisement de

certaines ressources non renouvelables; la constante de temps de ces phénomènes est relativement très grande; ils s'accompagnent en général de substitution permettant de remplacer un moyen de satisfaire aux besoins des hommes par un autre moyen mis à disposition par le développement technologique; ainsi l'ère de construction des voies de chemin de fer qui a constitué un des grands événements du siècle dernier, a été remplacé par l'ère de la construction des auto-routes et des aéroports, et on peut faire confiance à l'ingéniosité humaine pour trouver des solutions de rechange et des nouveaux équilibres entre les besoins humains et les moyens de les satisfaire.

Il existe un autre type de décroissance, moins apparent et plus sournois, qui résulte de la complexité et de l'interdépendance croissantes des systèmes socio-économiques, celui de brusque blocage et des dégradations qui peuvent paralyser la marche d'un système. M. R. Vacca a présenté plusieurs scénarios de dégradation rapide qui sont décrits dans son livre "Demain le Moyen Age, la dégradation des grands systèmes".\*

Ce risque est que la taille que prennent certains systèmes les rendent ingouvernables et provoque leur paralysie voire leur blocage, en particulier dans le domaine de la production d'énergie, de la circulation urbaine, de l'alimentation en eau et des communications, domaines qui sont vitaux pour le fonctionnement des sociétés industrielles.

Sous le nom de "théorie des catastrophes" des modèles mathématiques ont été développés qui permettent d'expliquer et de rendre compte de phénomènes de ce genre, du type "avalanche".\*

## Conclusion

Il apparaîtra probablement avec un peu de recul que les années 1960 auront marqué un tournant dans l'histoire de l'humanité, celui du point d'infexion de l'expansion économique et sociale de nombreux pays, et que nous sommes entrés dans l'ère des saturations; est-ce qu'elles conduiront à l'avènement de nouveaux équilibres et à des substitutions et adaptations progressives? Ou est-ce qu'elles précéderont des brusques dégradations et des blocages de secteurs économiques entiers provoquant ainsi de violentes crises qui pourraient être lourdes de conséquence par les guerres et révolutions qu'elles risqueraient de susciter?

L'avertissement du prof. Vacca mérite d'être entendu et faire l'objet de réflexion. Les économies d'échelle qui conduisent à des augmentations de la capacité des installations sont vraies à l'échelle micro-économique; elles cessent de l'être si on considère le coût social de la distribution et le risque que fait courir la mise hors service d'une installation géante.

\* Edition Albin Michel, Paris 1973

Voir en particulier:

R. Thom "Stabilité structurelle et morphogenèse" (Ediscience, Paris mars 1972)

R. Thom "Modèles mathématiques de la morphogenèse" (10.18. No 887 Paris 1974)

C.E. Zeeman "Catastrophy theory in brain modelling" (intern. Journal Neuro-Science 6, 1973)

Ceci milite en faveur du développement de systèmes décentralisés de taille limitée, même si le montant total des investissements qu'ils entraînent sont plus élevés. Ce développement dépend de décisions politiques conditionnées à leur tour par l'opinion publique.

C'est dans la recherche d'une meilleure prise de conscience des risques que fait courir une croissance purement quantitative que doit être cherchée la solution ainsi que le relève R. Vacca en conclusion de son livre: "Les agglomérations humaines se dégradent, les décisions des puissants les poussent vers l'instabilité et il serait déraisonnable de renverser ses tendances en se contentant d'adresser un défi à la société et aux gouvernements des Etats. Seules les exhortations adressées aux individus peuvent avoir des conséquences directes et limitées. L'existence indéniable de processus d'apprentissage chez les individus suffit à démontrer que l'accroissement de la quantité d'informations disponibles peut — au moins dans certains cas — assurer le salut".

2. Schweizerische Gesellschaft für Vererbungsforschung  
Société Suisse de Génétique  
Società Svizzera di Genetica

## Genetic Engineering

### H. Gloor (Université de Genève): Introduction

Le terme "Genetic Engineering" (technologie génétique) s'applique en particulier aux méthodes qui permettent d'isoler de petits fragments sélectionnés de la substance génétique de n'importe quel organisme, et de les introduire dans des souches bactériennes où, selon les conditions, de tels fragments peuvent se maintenir ou même se multiplier rapidement. Tous les organismes étant parfaitement adaptés aux conditions de leur environnement, en tant que espèces sinon en tant que individus, les changements possibles de leur patrimoine héréditaire sont étroitement limités. Cependant, l'introduction artificielle de propriétés génétiques de provenance étrangère pourrait radicalement changer les activités d'un organisme, pourvu que de tels gènes étrangers s'harmonisent d'une façon ou autre avec les cellules de l'hôte et fonctionnent en parallèle avec les gènes de l'hôte. C'est pourquoi plusieurs Commissions gouvernementales, notamment en Angleterre et aux Etats-Unis, se sont déjà penchées sur la question des dangers éventuels du "Genetic Engineering" et des mesures à prendre pour les limiter.

Des méthodes, comparables à celles qui ont été mises au point pour certaines bactéries, pourront sans doute être appliquées aux organismes multicellulaires, plantes et animaux. Théoriquement, de telles méthodes pourraient frayer un chemin à de nombreuses applications, soit salutaires et profitables, soit dangereuses ou néfastes.

A part les moyens traditionnels et strictement génétiques, à savoir: les mutations, l'hybridation, la sélection; il faut relever qu'il existe une "technologie" auxiliaire déjà considérable à l'égard des organismes multicellulaires. Ainsi, on peut faire régénérer une plante à partir d'une seule cellule végétative, ou à partir d'un grain de pollen; on peut faire pénétrer une algue bleue dans une cellule de plante verte, conserver au froid des spermatozoïdes et même des embryons de mammifères; on peut fusionner deux embryons lesquels ensemble donneront un seul individu parfaitement viable. On peut fusionner des cellules plus ou moins différenciées provenant de différents individus ou encore de différentes espèces (même animales et végétales, paraît-il), transplanter des noyaux ou du cytoplasme, et ainsi de suite.

Dans le cadre de ce symposium, le docteur Bernard Mach du département de pathologie de l'Université de Genève discute les méthodes et les problèmes moléculaires du "Genetic Engineering", tandis que le docteur Nils R. Ringertz de l'Institutet för Medicinsk Cellforskning och Genetik, Medicinska Nobelinstitutet, Karolinska Institutet, Stockholm, traite des aspects de la cellule animale.

## 1. B. Mach (Department of Pathology, University of Geneva): Genetic Engineering at the Molecular Level

The technology of genetic engineering, or DNA recombination in vitro, is derived from the possibility of transferring in vitro segments of DNA, and therefore of genes, from one DNA molecule to another. The two DNA molecules can be of the same or of different species, with no limit for this DNA transfert among unrelated and distant species. One of the two partners in such a "gene transplantation" reaction must be a self-replicating DNA molecule, such as a virus or a bacterial plasmid, and capable therefore of functioning as a vector. After an in vitro transfer of a foreign gene into such a self-replicating structure (vector) the new hybrid DNA is used to infect the normal host of the vector. Clones of new recombinant vectors (virus or plasmid) containing foreign DNA genes are propagated, each containing a unique segment of foreign DNA which can now be amplified when the recombinant vector is replicated.

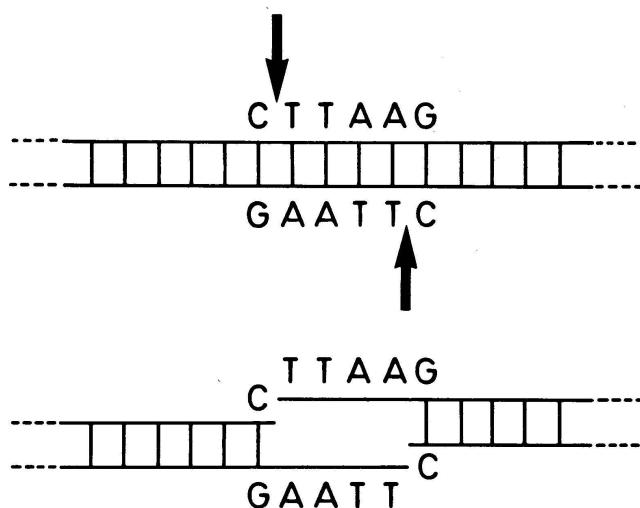
These segments result in the reaction, in vitro, of new genomes carrying and perpetuating genes belonging to another species. These developments have important implications for biological research as a whole, and in particular for the study of gene structure, function and regulation in the case of higher organisms. They may have practical implications as well for such problems as the large scale production of specific proteins.

Depending on the nature of the vector structure used (and into which foreign DNA is inserted) one can distinguish two broad categories of experiments. The first consists in DNA transfer into prokaryotes, using therefore a *prokaryotic vector*, such as a bacteriophage or a plasmid. The foreign DNA inserted and subsequently cloned and amplified, can either be of prokaryotic origin, or it may come from an eukaryote. Such experiments could involve the cloning of a specific mammalian gene sequence into a bacterial vector. The second type of transfer utilises a viral vector for the transfer of DNA (of whatever source) *into eukaryotic cell* hosts. Experiments of that second type are still rather preliminary.

### DNA transfer in vitro

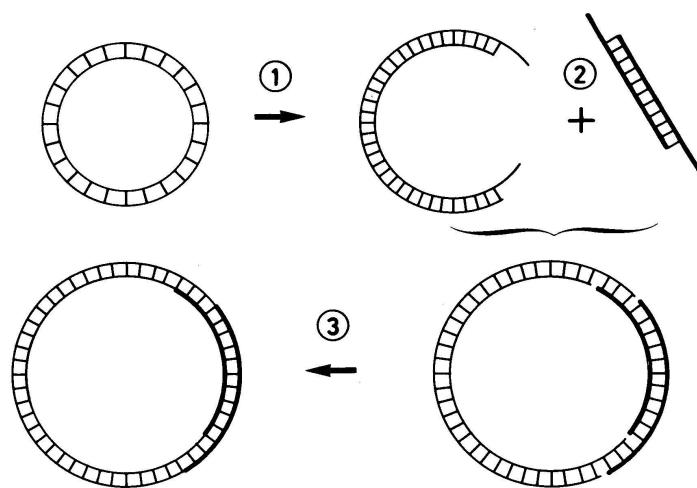
The first step in any of these experiments is to introduce a segment of DNA within a vector DNA molecule. This is achieved in vitro with a combination of biochemical reactions and it can be applied to any DNA molecules, whatever their source. The different molecules which are to be joined are first prepared with single-stranded tails of such structure that the single-strand tail of one DNA molecule is complementary to the single-stranded tail to another DNA molecule. End-to-end joining of DNA segments occurs therefore by the pairing of short complementary single-stranded stretches of the two DNA fragments.

Two biochemical mechanisms can produce DNA molecules capable of such end-to-end joining: a) fragments of DNA can be elongated enzymatically with single-stranded tails (on the 3' end of each of the two strands) with a short homopolymeric sequence. Two preparations of DNA, each



prepared with homopolymeric tails complementary to the other (for instance poly A and poly T) can be mixed and hybrid circles will be produced. Sealing and ligation can then be achieved enzymatically. b) Certain restriction endonucleases are capable of cleaving DNA molecules at very precise locations (specified by the nucleotide sequence along the DNA) and by cutting the two strands of DNA at a distance of about 3 to 5 nucleotide pairs. (see Figure 1). The enzymes therefore generate DNA fragments with short complementary tails and which are automatically capable of end-to-end joining. The crucial feature of this enzymatic cleavage is that DNA fragments produced by a given restriction endonuclease will be able to join to DNA fragments *from any source*, as long as these have also been produced by the same enzyme. Joining of such DNA fragments, followed by enzymatic ligation, will produce circular DNA molecules containing DNA of two different origins.

If one of the two partners in such an *in vitro* DNA joining experiment is a bacterial plasmid, or a bacteriophage, the resulting hybrid molecule, which



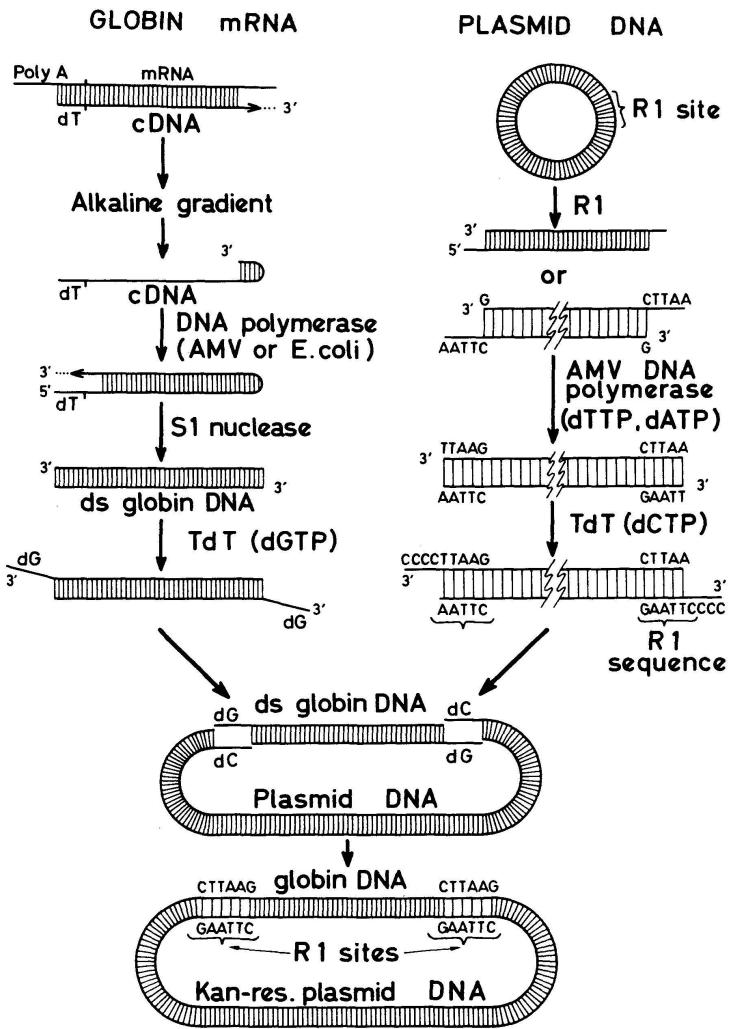
contains DNA, can function as normal phage or plasmid DNA and infect the host bacteria in which they will propagate. Great progress has been made in the past 2 or 3 years in the development of efficient vectors strains. These are derived from *E. coli* bacteriophage lambda and from plasmids of *E. coli*. One advantage of plasmids for these DNA transfer experiments is that, under certain circumstances, they can be amplified in their bacterial host and that large quantities of specific DNA, including specific foreign genes, can be prepared.

Figure 2 represents schematically the very simple sequence of events involved in an *in vitro* DNA recombination. Step 1 is the preparation of the vector (phage or plasmid), step 2 is the mixing, and pairing, of vector DNA and foreign DNA, both with complementary single strand tails, and step 3 is the final ligation of the hybrid circular DNA which is a viable phage or plasmid containing one or several additional genes of foreign origin.

### Gene specificity

The construction of new recombinants carrying *one given gene* presents great technical difficulties, especially in the case of genes from higher organisms, where a single gene represents only one part in several millions in the entire genome. This question of gene specificity has not yet been solved in an obvious way but there are clearly three possible strategies:

1. Random insertion of unfractionated DNA fragments from the entire genome (with the creation of a large number of phage or plasmid recombinants) followed by screening or selection for recombinants carrying a specific gene. This so-called "shot-gun" approach requires the scaling up of screening procedures (usually based on *in situ* hybridization with a specific labeled RNA or DNA probe). It has the disadvantage of involving the construction of large numbers of recombinants containing unknown genes.
2. The second approach is based on the purification, or enrichment, of a given gene by various biochemical techniques followed by its insertion into a bacterial vector. The methodology of gene purification is still very complex and progress along this second more sophisticated approach has been rather slow.
3. Because of the difficulties in cloning a specific gene from complexe organisms such as mammals, an alternative procedure has been developped. It consists in the *in vitro* synthesis of a gene (or portions of a gene) using a specific messenger RNA as a template. This has made possible the construction of *E. coli* plasmids carrying *in vitro* synthesized gene sequences from rabbit or mouse. The first success in such an experiment was in the case of rabbit and mouse globin; and the schematic representation of the different steps involved in such an experiment is presented in Fig. 3. When the messenger RNA coding for a given protein can be obtained either in pure form or as a majority component, this approach involves the creation of recombinants carrying only known gene sequences.



### Possible uses and implications of in vitro DNA recombination

The possibility of "cloning" individual genes and to amplify them in simple bacterial vectors does represent a major technological breakthrough for biological research. It will make possible new approaches in the study of gene expression and gene control as well as in the study of the fine structure of genes and of controlling sequences. Crucial biological questions such as cellular differentiation, control of normal and malignant growth, hormone induction, genetic control of antibody variability will no doubt benefit in a decisive way from these new techniques.

In vitro DNA recombination will be utilized for the construction of bacterial strains capable of producing specific "useful" proteins. The commercial production of various hormones, such as insulin, by large scale cultures of bacterial recombinants carrying the specific genes, is foreseeable in the near future. Other proteins of interest include viral proteins to be used as vaccine.

Great efforts will also be made to introduce the genes for nitrogen fixation into plants, an achievement which could have important consequences for agriculture and for the food problem as a whole.

And finally one must consider that the possibility of transferring foreign genes into animal cells might be used once for the treatment of genetic defects in human cells. Such a prospect involves technical steps which are clearly not possible now, and which may never be solved. It also carries at the same time a remarkable potential for medical progress and the worrisome possibilities of abuses inherent to such manipulations on human cells or even on individuals.

Although genetic engineering may never reach the state where it could be applied to humans; the mere possibility of such interventions has rightly generated grave concern among scientists and non scientists alike. Furthermore, the possibility that DNA recombination in vitro involving simple bacterial vectors might involve some health hazards, unknown in nature and extend, has also resulted in a serious and critical reflexion on the justification for such new research. The consensus is now that a strict control should be exerted on what kind of experiment should be allowed and not allowed and also on the very stringent safety conditions under which such type of research can be allowed to proceed. As a result of such concern, very strict rules are now applied to this field of research, which imply not only the physical conditions but also the use of bacterial or viral strains unable to survive outside a very complexe set of laboratory conditions. An open debate on the interest and possible benefits of certain types of these experiments, and on the rules imposed to prevent abuses in this field is most important. Also important is that such a debate be conducted in an objective serene climate.

## 2. N.R. Ringertz (Institute for Medical Cell Research and Genetics, Medical Nobel Institute, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden): Possibilities of Cell Biology for Genetic Engineering

The term genetic engineering is now used to describe experiments designed to modify the genetic material of bacteria, viruses and other prokaryote microorganisms. This technology owes its origin to recent progress in nucleic acid biochemistry and molecular biology. Thus, the discovery of restriction enzymes has made it possible to prepare DNA fragments in a form which makes it easy to recombine and join fragments from two different organisms into recombinant DNA molecules. Using these methods it is possible to construct specific gene sequences which can then be injected into bacteria where they will be replicated and thus amplified as the bacteria multiply. The consequences this may have for the biological properties of bacteria are presently the subject of intense studies and debate. In view of the rapid progress in "genetic engineering" with microorganisms it is now of interest to consider to which extent such manipulations can be performed with animal cells. It is also necessary to discuss the potential benefits and risks that such experiments may entail.

Recent advances in the field of somatic cell genetics have resulted in techniques which make it possible to generate animal and plant cells with altered genomes (Fig. 1) such as *mutant cells* with specific genetic defects, *virus transformed cells* in which viral genes have been added to the cellular genomes, *hybrid cells* containing genetic material from two different cell types, and *reconstructed cells* in which the nucleus may be derived from one cell type and the cytoplasm from another. The aim of this presentation is to discuss possibilities of preparing animal cells with altered genomes. For references and a more detailed discussion of this subject see ref. 1)..

### Mutant cells

The term mutant is used to describe cells or cell lines which show a stable and heritable alteration in phenotype. Mutants can be isolated by culturing cells from patients suffering from inherited metabolic disorders or by treating normal ("wild-type") cells *in vitro* with mutagens. In the latter case, exposure to mutagens (X-irradiation or chemical mutagens) is followed by selection for mutant cells. Often one uses special culture media or drugs in order to kill normal cells and allow a special class of mutants to accumulate. *Drug resistant, enzyme deficient mutants* have been used in testing the relative importance of different pathways of purine and pyrimidine synthesis and in studies of metabolic cooperation and cross-feeding between cells. *In vitro* studies of cells sensitive or resistant to cytostatic drugs have provided information about the mechanism of action of these drugs. This type of information is important in cancer chemotherapy. *Auxotrophic mutants*, that is cells requiring special nutrients not required by normal cells, have been used for genetic analysis of nutritional requirements. *Temperature sensitive mutants*, are cells which grow at certain temperatures (permissive temperatures) but not at other temperatures (nonpermissive temperatures) at which normal cells multiply. Many of these mutants appear to be due to slight base changes in DNA which cause single amino acid substitutions in proteins thereby causing them to become nonfunctional when the temperature is changed from the permissive to the nonpermissive temperature. The protein affected may be one which is necessary for DNA, RNA or protein synthesis in general or one which has a specific enzymatic function in a metabolic pathway. Other temperature sensitive mutations affect complex cell functions, for instance progress through the cell cycle, mitosis, susceptibility to viral infection or ability to undergo transformation by tumor viruses. The study of mutant cells by biochemical techniques makes it possible to test the direct involvement of a specific gene product in the control of a given phenotype. Furthermore mutant cells may be used in cell fusion experiments to facilitate the isolation of hybrid cells. As will be discussed below this represents an important genetic technique which makes it possible to explore the organization and function of genes in human and animal cells.

1) Ringertz NR, Savage RE (1976): *Cell Hybrids*. Academic Press, New York.

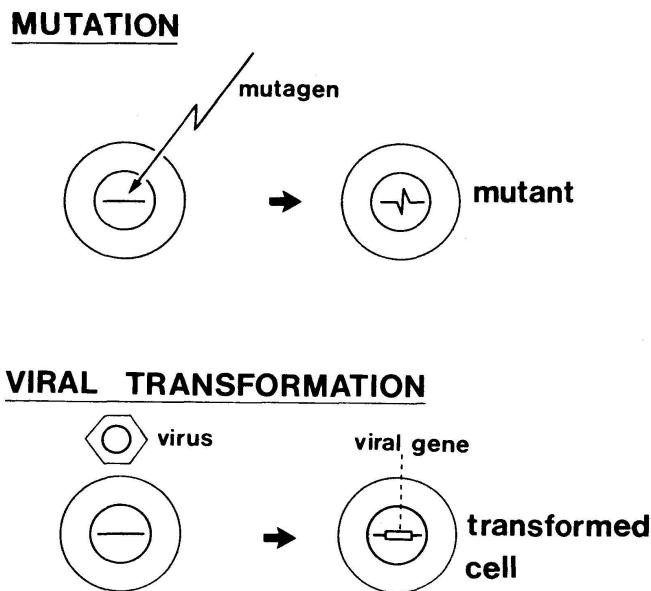


Fig. 1 Schematic illustration of mutation and viral transformation.

#### Virus transformed cells

Treatment of normal cells *in vitro* with DNA or RNA tumor viruses can cause a heritable alteration in their growth regulation known as transformation. This process is believed to be analogous to *in vivo* transformation of normal cells to tumor cells. Cells which have been transformed continue to multiply *in vitro* after normal cells have undergone senescence and stopped multiplying. Usually transformed cells do not contain detectable quantities of infectious virus. Using nucleic acid annealing it is, however, possible to detect a small number of viral genomes which are covalently linked to host cell DNA (Fig. 1). In some transformed cell lines the viral genomes are defective and correspond only to one or two genes. One of these genes is believed to specify the transformed phenotype and a special virus-induced nuclear antigen. Further studies of viral transformation genes will no doubt provide valuable information about virus-induced carcinogenesis.

#### Cell hybrids

The technique of cell hybridization involves a spontaneous or induced fusion of two different types of cells (A and B) into multinucleate *heterokaryons* containing A and B type nuclei within a common cytoplasm (Fig. 2). Most heterokaryons die soon after fusion but some of those which contain only one A nucleus and one B nucleus survive and complete a normal cell division. The binucleate heterokaryons then give rise to two mononucleate *hybrid cells (synkaryons)* each of which contains a complete set of A and B chromosomes. Many types of hybrids show great vitality and are capable of multiplication in tissue culture for many years.

## HYBRIDIZATION

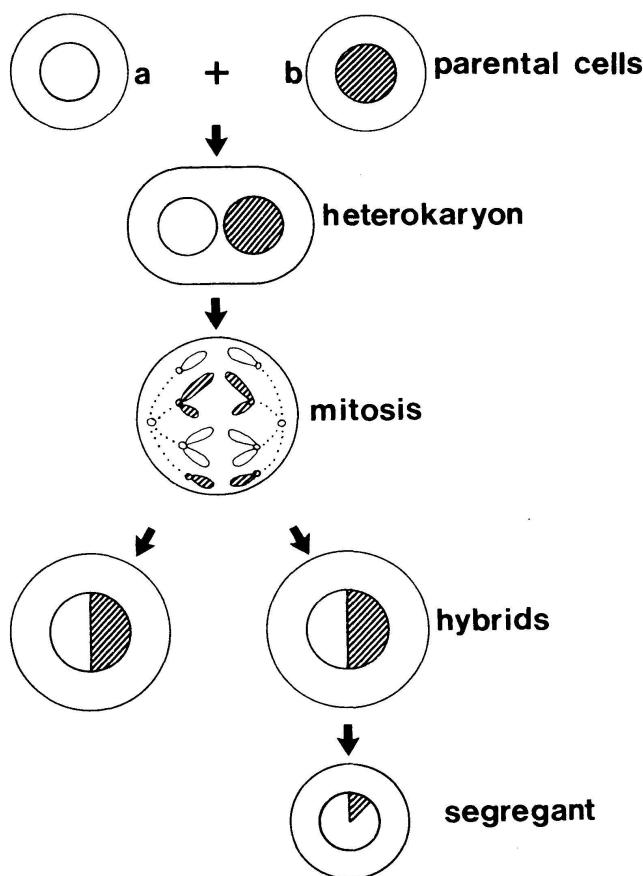


Fig. 2 Schematic summary of somatic cell hybridization. Fusion of two different cells, A and B results in a binucleate heterokaryon which in some cases divides to form two mononucleate hybrids (synkaryons) each of which contains a complete set of A and B chromosomes. If such hybrids are cultured over longer periods of time there may be elimination of chromosomes from one of the parental cells (chromosome segregation). A segregant may lose practically all chromosomes from the B cell while at the same time retaining a complete set of A chromosomes.

A wide variety of animal, human and even plant cell types, have been used as parental cells in these fusions. When cells of different organisms are fused *interspecific hybrids* are produced. In these cases, the parental cells differ at least with respect to genotype if not phenotype as well. *Intraspecific hybrids* are obtained by fusing two different cell types from the one species. In these cases the parental cells share a common genotype but differ in morphological, immunological, or functional properties, that is in phenotype.

The most common method of inducing cell fusion is to add *inactivated Sendai virus* to a suspension or monolayer of cells. Several chemical methods

of inducing cell fusion have been suggested. These involve the use of lysolecithin, polyethyleneglycol and artificially produced liposomes.

Heterokaryons, the immediate products when two different cells fuse, have been useful in the analysis of nucleocytoplasmic interactions and the role of the cytoplasm in the control of nuclear activity. Fusion of cells differing in their activity with respect to DNA and RNA synthesis has shown that the active partner almost always stimulates the nucleus of the inactive partner to synthesize more RNA and/or DNA. There is suggestive evidence that the signals which trigger the increased activity are proteins which migrate from the cytoplasm into the inactive nucleus. The signals appear not to be species specific since active cells of mouse origin can stimulate inactive human, rabbit or chick as well as mouse nuclei.

If one of the parental cells in a fusion happens to be in mitosis, while another is in interphase, the nucleus of the latter cell is induced to undergo premature chromosome condensation (PCC). The morphological appearance of the PCC filaments varies depending on whether the interphase cell happens to be in  $G_1$ , S, or  $G_2$  phase. Therefore, the PCC phenomenon can be used to analyze the chromosome condensation cycle during interphase and factors which trigger mitosis. Furthermore, it represents a method of visualizing chromosomes in nondividing cells (e.g. sperm), and of scoring the immediate effects of chromosome breaking agents.

Heterokaryons have been useful in the analysis of factors which regulate phenotypic expression and in gene complementation analysis of human genetic disease. Restoration of a missing function in a heterokaryon formed by the fusion of two mutant cells is an indication that the two cell types suffer from different genetic defects. Using this approach it has for instance been possible to show that the Xeroderma pigmentosum syndrome in Man can be divided into 4 - 6 complementation groups. Each of these groups probably corresponds to a specific genetic lesion, each representing an enzyme or factor required for the repair of UV-induced DNA damages.

In order to study mononucleate hybrid cells (synkaryons) they usually have to be separated from the parental cells and from polyploid cells arising from the fusion of like cells. This can be achieved by single cell cloning or by using culture conditions which favour the growth of hybrid cells while inhibiting the parental cells. Selection for hybrid cells is commonly based on the use of mutant parental cells. The "HAT" selection system can be used as an example of this. Mutant cells deficient in hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transferase (HGPRT<sup>-</sup>) are obtained by selection with thioguanine or from patients suffering from the Lesch Nyhan syndrome. These cells are then fused with cells deficient in thymidine kinase (TK<sup>-</sup>). The latter type of mutant is obtained by selection with bromodeoxyuridine. The genetic defects of the mutant cells are of little importance during growth on normal tissue culture media, since the relevant enzymes are only involved in salvage (reserve) pathways for nucleotide synthesis. When the main biosynthetic pathways for purine and pyrimidine nucleotides are blocked by the folic acid analogue aminopterin, normal cells (HGPRT<sup>+</sup> TK<sup>+</sup>) can survive if supplied with exogenous hypoxanthine and thymidine whereas the mutant cells die because of their inability to synthesize nucleotides from hypoxanthine (HGPRT<sup>-</sup> cells) or from thymidine (TK<sup>-</sup> cells). Hybrid cells formed from fusion of HGPRT<sup>-</sup> with TK<sup>-</sup> cells can be isolated by selection in a

medium containing Hypoxanthine, Aminopterin and Thymidine (HAT-medium). Hybrids contain one chromosome set which is HGPRT<sup>-</sup> but TK<sup>+</sup> and one that is HGPRT<sup>+</sup> and TK<sup>-</sup>. Therefore, they are able to produce HGPRT and TK enzyme and to utilize exogenous hypoxanthine and thymidine for nucleotide synthesis. Thus when combined in one cell the two parental genomes complement each other and make it possible for the hybrid cell to survive on HAT-medium. The unfused parental cells, however, are killed by this medium.

In addition to the HAT medium there are a number of other selective systems in which the parental cells are temperature sensitive or auxotrophic mutants. When the two parental cells differ with respect to their gene mutations, the hybrids can be isolated because of the gene complementation phenomenon. This type of analysis also illustrates an important application of the cell hybridization method, namely the genetic analysis of metabolic pathways and cell function.

Intraspecific hybrids (e.g. mouse + mouse) usually show chromosome numbers which approximate or are a little below the expected sum if one assumes that one cell of one type and one cell of the other type have fused (1 + 1 hybrids). As the cells are maintained in culture over long periods of time the chromosome number undergoes a slight decrease. Interspecific hybrids (e.g. mouse + man) on the other hand usually show extensive chromosome elimination. Presumably *chromosome segregation* in the hybrid population is due to abnormal mitoses and overgrowth of variants with a reduced chromosome complement. In interspecific hybrids chromosome segregation usually involves the preferential elimination of chromosomes of one species while the chromosomes of the other species are selectively retained. Thus human chromosomes are selectively eliminated in man + rodent hybrids. Since many homologous isozymes of man and mouse can be distinguished by differences in their electrophoretic mobility it is possible to establish if there is coexpression of both genomes or if a human enzyme activity has been lost because of loss of a specific human chromosome. By analyzing the expression of a variety of human markers in many different clones it is possible to establish that some markers always occur together and that they are always lost as a group (*linkage analysis*). In many cases the retention or loss of a marker can be correlated with a specific chromosome (*synteny testing*). Hybrid cells can also be used to establish the linear order in which genes occur on individual chromosomes, measuring distances between genes and relating these data to the structure of the chromosomes (*chromosome mapping*). One method of mapping genes is to induce massive chromosome fragmentation by treating one of the parental cells or the hybrids with chemical or physical mutagens, causing chromosome breaks. By using appropriate mouse mutants as one of the parental cells, and selective media on which the cells have to retain a specific human gene in order to survive, it is possible to obtain hybrid clones that retain a broken chromosome carrying the complementing human gene. Different clones differ with respect to the size and break points of the chromosome fragment. Detailed cytological examination of the chromosome fragments and assaying for linked genes by isozyme analysis make it possible to map the exact localization of genes down to the molecular level.

One of the main applications of the cell hybridization technique in cell biology has been in the analysis of gene expression and cell differentiation. Hybrid cells with complete or reduced chromosome sets have been examined for general characteristics such as morphology, growth rate, contact inhibition and senescence, complex physiological and immunological properties, specific gene products e.g. enzymes, hormones, immunoglobulins, and for sensitivity to specific drugs. Any of these characteristics can be used as a marker if the two parental cells differ with respect to it. Obviously a distinction has to be made between properties common to all cells of a given organism (*constitutive markers*) and properties which are expressed only by certain differentiated cells (*facultative markers*). A number of different gene expression patterns have been observed; *coexpression* of constitutive and facultative markers, *dominance* or *recessiveness* of drug resistance markers, *extinction* of facultative markers and in some cases *activation* of new properties not expressed by the parental cells. Although these observations are important for our understanding of how gene expression and cell differentiation are controlled in eukaryotic cells they do not yet provide a clear picture of how gene activity is regulated in animal cells.

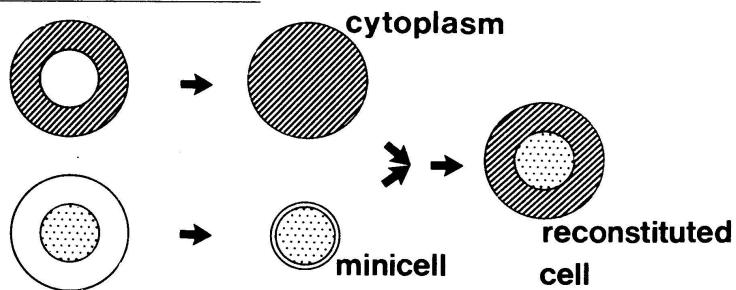
The technique of cell hybridization has also gained wide applications in the analysis of malignancy and transformation. It is an important tool in tumor virology where it has been used to map virus integration sites, virus rescue and virus detection, analysis of factors determining the susceptibility of different cell types to viral infections, and analysis of cellular mechanisms inhibiting viral replication or modifying viral gene expression.

#### Reconstruction of cells by fusion of cell fragments

A new technique which promises to be of great interest in the study of gene regulation and nucleocytoplasmic interactions in animal cells involves fusion of cell fragments. The technique used for generating cell fragments is based on the use of the drug cytochalasin B. If animal cells are exposed to this drug marked changes occur in the shape of the cells and frequently the nuclei are extruded into the tip of long protrusions which are connected to the main cytoplasm via narrow stalks. These stalks frequently break spontaneously, thus causing a loss of nuclei from some cells. The efficiency of *enucleation* can be increased to close to 100% by centrifugation. Usually glass discs with monolayers of cells are placed cell-side down in centrifuge tubes containing a cytochalasin solution. During centrifugation the nuclei are pulled out of the cytoplasms which remain attached to the discs. The cytoplasms (anucleate cells) have an abnormal shape immediately after centrifugation but if returned to normal culture medium they resume the form of the intact cell and continue to synthesize protein. The cytoplasms remain metabolically intact for 12 - 36 h before they round up and die.

The nuclei, on the other hand, can be collected from the bottom of the centrifuge tubes. These nuclei differ from nuclei prepared by other techniques in that they are surrounded by a thin rim of cytoplasm and an intact plasma membrane. These cell fragments, which are referred to as *minicells* or *karyoplasts*, in many cases contain less than 10% of the cytoplasm of the intact cell and are capable of RNA and DNA synthesis for several hours

### RECONSTITUTION



### CYBRIDIZATION

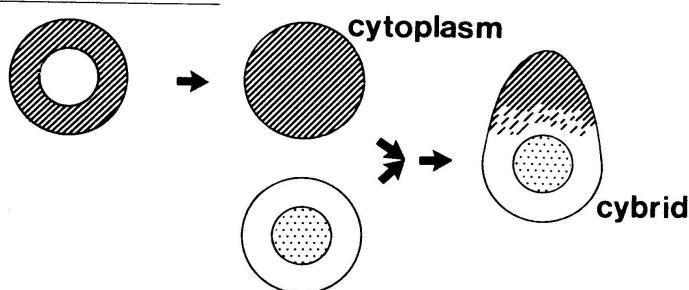


Fig. 3 Enucleation of cells by cytochalasin treatment and centrifugation of animal cells gives two types of cell fragments: nuclei (minicells) and cytoplasms. Both types of fragments are surrounded by an intact plasma membrane and may be fused to give a reconstituted cell. Viable cells may be reconstituted by combining nuclei and cytoplasms from different types of cells. If an enucleated cell (cytoplasm) is fused with an intact cell, the result is a cytoplasmic hybrid (cybrid).

after enucleation. Under the conditions of preparation and culture which we have used minicells from several different cell types have been unable to regenerate a cytoplasm and to form cell colonies. Instead the minicells have undergone lysis and have died within 24 - 48 h of enucleation.

Since nuclei and cytoplasms prepared by the cytochalasin enucleation technique are surrounded by an intact plasma membrane carrying receptors for Sendai virus they can be fused together with inactivated virus to give *reconstituted cells* (Fig. 3). It is also possible to add cytoplasm from one cell to an intact cell. In this case the result is a cytoplasmic hybrid (*cybrid*), that is a cell containing a cytoplasm which is a mixture of that of two different cells. One of the chief problems in such experiments lies in recognizing and distinguishing the intact parental cells, the reconstituted cells and cybrids. Four types of markers have been used to identify the origin of individual cells and small colonies of cells arising from reconstructed cells: morphological markers (nuclear size and shape), artificially produced markers (ingestion of polystyrene beads of different size classes and/or labelled with different fluorochromes), DNA content and functional markers. The functional markers (mutant cells defective in specific enzyme functions or resistant to specific drugs) are useful not only for identification purposes

## CHROMOSOME TRANSFER

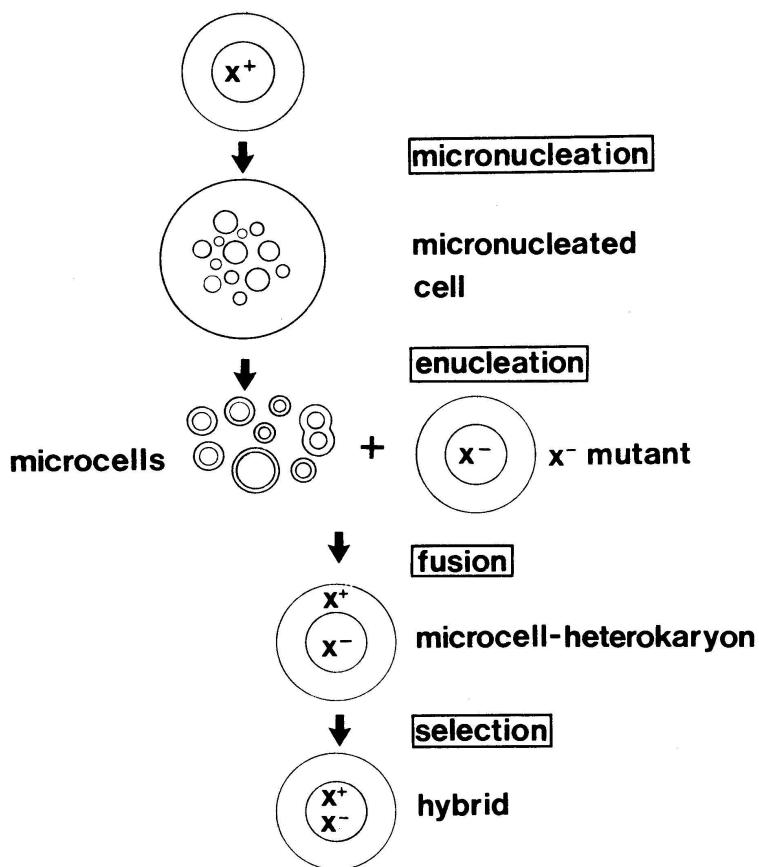


Fig. 4 Transfer of chromosome(s) from one cell to another by microcell fusion. Microcells are subdiploid miniature cells which are generated by first inducing micronucleation with microtubular poisons. Micronucleated cells are then enucleated to give microcells. The smallest microcells have a DNA content equivalent to single chromosomes. Fusion of microcells from normal cells with a mutant cell ( $x^-$ ) can be used to introduce a complementing chromosome ( $x^+$ ). By using appropriate selection methods one may be able to predetermine which microcell hybrids survive.

but also to obtain the progeny of the desired reconstructed cells by growth on selective media. Using this approach we have been able to reconstitute viable cells by combining nuclei and cytoplasms from different sublines of an established rat myoblast line. Also some combinations involving nuclei and cytoplasms from two different species have been successful. Thus viable cells capable of cell multiplication have been obtained by combining nuclei from rat myoblasts with cytoplasms from mouse fibroblasts. The fact that animal cells can be reconstructed by fusing two nonviable cell fragments from two different species and two different cell types indicates that it may be possible to generate a fairly wide spectrum of reconstituted cell types. Specific areas of research in which reconstitution techniques should prove useful include regulation of gene expression, the stability of the differen-

tiated state, interactions between the nucleus and cytoplasm, and the dependence of mitochondria and other cytoplasmic organelles on nuclear genes.

Using the cytochalasin enucleation technique it is also possible to prepare another type of cell fragment. *Microcells* are prepared by centrifuging micronucleated cells in the presence of cytochalasin (Fig. 4). Such cells can be obtained in large numbers by treating normal mononucleated cells with microtubular poisons (colchicine, colcemid, vinblastine etc.). After an extended metaphase nuclear membranes reassemble around individual or small groups of chromosomes which are scattered throughout the cytoplasm of the dividing cell because of abnormal anaphase movements. As a result the genome is divided into a large number of micronuclei in which the chromosomes are dispersed into interphase chromatin. Enucleation of micronucleated cells results in subdiploid microcells containing one or several micronuclei surrounded by a rim of cytoplasm and a plasma membrane. The smallest members of a microcell population have a DNA content equivalent to single chromosomes while the larger microcells clearly must contain more than one chromosome. As with minicells most of the subdiploid microcells are metabolically intact in the sense that they persist in culture for a short time and exclude trypan blue. Using inactivated Sendai virus, microcells may be fused with intact cells to give heterokaryons. There is tentative evidence that some microcell heterokaryons divide and give rise to mononucleate hybrid cells. Fusion with microcells, therefore, appears to offer a method by which a small part of the genome of one cell can be introduced into another cell. If the recipient cell is a mutant which is unable to grow on a selective medium it may be possible to isolate hybrids in which a complementing chromosome has been introduced by fusion with a microcell (Fig. 4). Thus, although it will be difficult to fractionate microcells and obtain those containing a specific chromosome, and although fusion is likely to be random, it is possible to control which hybrids one obtains. Microcell hybrids containing mouse chromosomes and only one specific human chromosome could be useful in chromosome mapping. Other applications could be in gene complementation analysis designed to distinguish structural and regulatory mutations, and in the analysis of integrating sites for tumor viruses.

### Concluding remarks

Recent progress in somatic cell genetics has made it possible to generate many different types of genetically altered cells. The techniques are based on the use of mutagens, virus transformation, cell fusion, and methods of preparing and recombining cell fragments. With these techniques it is now possible to analyze a large number of important biological and medical problems. Undoubtedly it is also possible to repair genetic defects in mutant cells by introducing complementing chromosomes from normal cells. In spite of this, it is not likely that such techniques will be useful for clinical medicine within the foreseeable future. The main reasons for this belief are (a) that the problems in repopulating an individual suffering from a genetic disease with cells "repaired" *in vitro* appear to be exceedingly difficult.

There may also be a risk that the repaired cells give rise to tumors; (b) There are at least 1'500 distinguishable human diseases which are known to be genetically determined but most of these diseases are rare or very rare. Furthermore even if the patients show exactly the same symptoms they may differ with respect to their individual genetic lesions. The cost of mapping the nature of the genetic lesion in each individual and then designing a genetic therapy based on genetic engineering with cells or DNA would be prohibitive.

In view of the recent discussion about the dangers of recombinant DNA research it may be appropriate to ask if there are any dangers in genetic engineering with human or animal cells. So far there are no indications that there would be any serious risks in this type of research. On theoretical grounds it has been pointed out, however, that cell hybrids between animal and human cells may represent an intermediate host in which animal viruses can be adapted to grow on human cells by mutation or recombination with human cellular DNA. Clearly this possibility must be explored. It appears, however, to be a risk which may be controlled by using known methods for containing pathogenic microorganisms.

3. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung SAGUF  
Association Suisse pour la Recherche sur l'Environnement

3. SAGUF-Symposium, 18. September 1976 in Bern  
Probleme der Deponie radioaktiver Spaltprodukte

**H. Mislin (Carona/Lugano): Einleitung**

Ziel und Zweck der SAGUF-Symposien ist es, an der wissenschaftlichen Klärung einer jeweils aktuellen Umweltproblematik aktiv mitzuwirken. Die grosse Beklemmung gegenüber einer allzu raschen Verbreitung von Kernkraftwerken ist letztlich weniger auf das Problem der Abwärme gerichtet, als nach wie vor auf dasjenige der radioaktiven Abfälle, der Spaltprodukte. Auch waren sämtliche bisherige Deponien für den Atommüll nur als Verlegenheitslösungen zu betrachten. Es gehört zum Auftrag der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung als neutrales Forum zunächst empirisch sachliche, wissenschaftliche Information, die international erhoben und diskutiert wurde, zu vermitteln.

Es lag daher nahe, Experten aus den beiden Nachbarländern Frankreich und Deutschland, die bereits über mehr Erfahrung mit radioaktivem Abfall verfügen, zusammen mit den schweizerischen Wissenschaftern zur kritischen Auseinandersetzung einzuladen. Das Symposium sollte einen problemklarenden Beitrag leisten, vor allem zur Frage derendlagerung in wasser- und durchlässigen Formationen der Erde (jungfräuliche Salzlagerstätten, submarine Bohrlöcher u.s.w.). Vorschläge in Richtung auf die definitive Beseitigung radioaktiver Spaltprodukte, d.h. endgültige Eliminierung aus der Biosphäre, wurden diskutiert.

Das Symposium stand unter der Diskussionsleitung von Herrn Prof. Dr. Otto Huber, Universität Fribourg, und bot eine offene Debatte über alle einschlägigen Fragen. Zusammen mit den gekürzten Vorträgen sind auch die schriftlich eingereichten und sachbezogenen Diskussionsvoten im vorliegenden Symposiumsbericht aufgenommen worden.

**1. R.P. Randl (Bonn): Die Entsorgung von Kernkraftwerken. Probleme und Lösungen**

Die mit dem Energieprogramm der Bundesregierung verbundene Forderung nach einem verstärkten Ausbau der Kernenergie für eine krisensichere, langfristig verfügbare Elektrizitätsversorgung erfordert einen gesicherten, vollständigen Brennstoffkreislauf. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Kreislaufes ist die Rückgewinnung der spaltbaren Materialien Uran und Plutonium

aus den bestrahlten Brennelementen durch die Wiederaufarbeitung. Von zumindest gleicher Bedeutung ist die sichere Verwahrung der bei der Kernspaltung im Reaktor entstandenen radioaktiven Spaltprodukte, die bei der Wiederaufarbeitung abgetrennt und in eine Form umgewandelt werden, die ihre langfristig sichere Lagerung erlaubt.

Nachdem in den vergangenen Jahren Lösungswege und befriedigende industrielle Strukturen auf dem Gebiet der Versorgung mit Brennstoff (Natururanbeschaffung und Anreicherungsarbeit) erarbeitet wurden, stehen nun Fragen der Entsorgung, d.h. der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen, der Abfallbehandlung und -lagerung im Blickpunkt des Interesses.

Die Bundesregierung hat zur Schliessung des Brennstoffkreislaufs seit einigen Jahren ein Konzept entwickelt, das – getragen von Staat und Industrie – bis Mitte der 80er Jahre zur Errichtung eines integrierten Entsorgungssystems für Leichtwasser-Reaktoren führen wird. Dabei sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Wiederaufarbeitung, Spaltstoffzyklierung, Abfallbehandlung und Abfalllagerung stellen ein räumlich konzentriertes Gesamtsystem dar. Bei dem geplanten Ausbau der Kernenergie besteht die Notwendigkeit, dieses System im industriellen Massstab in seiner 1. Ausbaustufe ausreichend für rund 50'000 MWe Kernkraftwerksleistung – etwa bis zur Mitte des nächsten Jahrzehnts – zur Verfügung zu haben.
- Mittel- und schwachradioaktive Abfälle werden sofort nach Abtrennung entsprechend konditioniert und am Standort der Entsorgungsanlagen endgelagert. Der Standort wird demnach vor allem auch nach seinem Endlagerpotential, d.h. dem Vorhandensein jungfräulicher Salzformationen im Untergrund, auszuwählen sein.
- Die anfallenden hochaktiven Abfälle können zunächst als verfestigte Produkte zwischengelagert werden. Erst nach ausreichender Erprobung des Endlagerkonzeptes im Versuchsendlager Asse II wird eine Endlagerung dieser Abfälle vorgenommen werden. Nach den gegenwärtigen Zeitplänen wird jedoch, wenn überhaupt, nur eine kurzfristige oberirdische Zwischenlagerung in geeigneten Bauwerken (engineered storage) erforderlich sein. In Anbetracht der relativ geringen anfallenden Mengen verfestigter Hochaktivprodukte (ca. 100 – 150 m<sup>3</sup> pro Jahr) und der – auch international – bereits erprobten Lagertechnik kann eine solche Zwischenlagerung ohne Umweltrisiko durchgeführt werden.

Für die Verwirklichung des Entsorgungskonzeptes wurden folgende Festlegungen getroffen:

- a) Wiederaufarbeitung, Wiederverwendung der rückgewonnenen Brennstoffe und Abfallbehandlung werden grundsätzlich unter wirtschaftlich-industriellen Bedingungen durchgeführt.
- b) Bei der Realisierung des Entsorgungssystems wird die Endlagerung der radioaktiven Abfälle in die Verantwortung des Bundes fallen. Die endgültige gesetzliche Regelung dieser im Grundsatz zwischen Bund und Ländern unstrittigen Bundeszuständigkeit erfolgte mit der 4. Novelle zum Atomgesetz. Als Ergebnis der Verantwortung für die Endlagerung wird der Bund auch Eigentümer des Endlagers – und damit des Entsorgungsstandortes sein.

Mit dem Ziel, einen optimalen Standort hierfür unter den Bedingungen der Bundesrepublik auszuwählen, werden seit rund zwei Jahren im Auftrag der Bundesregierung in der gesamten Bundesrepublik Untersuchungen zu möglichen Standorten für ein solches Entsorgungssystem durchgeführt. Hierbei wurden zunächst allgemein zugängliche Daten über wichtige Standortkriterien gesichtet und bewertet.

In der jetzt anstehenden Phase ist es notwendig, ausführliche Vor-Ort-Untersuchungen zu Geologie (Endlagerpotential), Hydrologie, Meteorologie, Baugrundbeschaffenheit u.a. an einigen denkbaren Standorten durchzuführen, um Daten und Entscheidungskriterien für die endgültige Standortwahl im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren erarbeiten zu können. Es ist beabsichtigt, diese Standorterkundung zunächst an drei möglicherweise geeigneten Standorten in Norddeutschland im Laufe des nächsten Jahres so weit abzuschliessen, dass ggf. eine Standortauswahl getroffen und das atomrechtliche Standortgenehmigungsverfahren eingeleitet werden kann.

Im Sinne der heutigen Vortagsveranstaltung möchte ich mich hier ausschliesslich dem Thema "radioaktive Abfälle", die in dem geplanten Entsorgungszentrum anfallen, zuwenden und insbesondere auf die Endlagerung eingehen.

Zunächst einige Worte zur Abfallbehandlung:

Aufgrund der Ergebnisse der F + E-Arbeiten zur Behandlung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik und im Ausland sowie der Erfahrungen mit der Endlagerung konditionierter radioaktiver Abfälle in der Asse lassen sich folgende Grundsätze formulieren:

- Bei der Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle wird zweckmässigerweise zwischen schwach- und mittelaktiven Abfällen einerseits und hochaktiven wärmeerzeugenden Abfällen andererseits unterschieden.
- Schwach- und mittelaktive Abfälle werden durch Einbettung in Zementen bzw. Bitumen zu lagerfähigen, stabilen Produkten verarbeitet. Diese Verfahren werden seit längerer Zeit routinemässig angewandt und in Demonstrationsanlagen bei der GfK, GWK und bei Eurochemic weiterentwickelt und verbessert.
- Hochaktive Abfälle werden in Glasprodukte eingebettet werden. Hierfür sind noch umfangreiche Erprobungen und Demonstrationen in Versuchsanlagen vorgesehen.

In den nächsten Jahren werden in den Grossforschungseinrichtungen und bei der Industrie noch umfangreiche Arbeiten zur weiteren Erprobung dieser Verfahren und zur Demonstration im ausreichenden Massstab durchgeführt werden.

Die Untersuchungen werden sich bei der Behandlung mittel- und schwachaktiver Abfallströme auf die Erprobung besserter Techniken zur Bitumierung bzw. Zementierung ausrichten. Hierbei werden Verfahren zur weiteren Volumenreduktion, zur Erhöhung der Auslaugresistenz und zur Langzeitstabilität im Vordergrund stehen. Ebenso wird die "in-situ-Verfestigung" dieser Abfälle aufgegriffen werden, da ein solches Verfahren eine weitere Erhöhung der Sicherheit bei Behandlung und Beseitigung schwach- und mittelaktiver Abfälle, vor allem durch Verringerung der Hantierungsschritte, verspricht.

Die Arbeiten zur Verfestigung hochaktiver Abfälle werden verstärkt. Nachdem im letzten Jahr die ersten hochaktiven Gläser im Labormassstab hergestellt wurden, gilt es nun, die entsprechenden Techniken in den industriellen Massstab zu übertragen. Die dafür notwendigen Demonstrationsanlagen befinden sich bereits im Planungsstadium. Es ist vorgesehen, sie so zügig wie möglich zu errichten, so dass bis zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der industriellen Verfestigungsanlage am Entsorgungsstandort, gegen Ende der 80er Jahre, ausreichende Erfahrungen mit der Verfestigungstechnologie und damit belastbare Aussagen über die Produktqualität zur Verfügung stehen werden.

Die Endlagerung der hochaktiven Abfallprodukte soll nach dem Entsorgungskonzept ebenfalls in der Salzformation am Entsorgungsstandort erfolgen.

Es ist beabsichtigt, die hierfür erforderliche Endlagertechnik bei den ab 1978/79 geplanten Versuchseinlagerungen in Asse ausführlich zu erproben, so dass bis zum frühestmöglichen Beginn der HAW-Endlagerung am Entsorgungsstandort Ende der 80er Jahre bereits umfangreiche Erfahrungen vorliegen.

Im Rahmen des Gesamtentsorgungskonzeptes ist vorgesehen, die schwach- und mittelaktiven Abfälle in nicht begehbarer Salzkavernen endzulagern, während die verfestigten hochaktiven Abfälle ihren endgültigen Platz in einem während der Betriebsphase begehbarer Endlager finden sollen.

Aufgrund der bisherigen Kenntnisse und Untersuchungen ist nicht zu erwarten, dass unser Konzept der Endlagerung in stabilen geologischen Formationen des tiefen Untergrunds, d.h. insbesondere jungfräuliche, mächtige Steinsalzformationen, unter den deutschen Gegebenheiten grundsätzlich geändert werden wird. Das schliesst nicht aus, eher im Gegenteil, dass wir bereits jetzt und künftig alternative Konzepte und ihre Erprobung im Ausland mitverfolgen und vor einer endgültigen Auswahl einer deutschen Lösung gebührend im Entscheidungsprozess berücksichtigen.

Lassen Sie mich nun auf diese Problemkreise bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle eingehen.

Zunächst zur Technik der Einlagerung. Schwach- und mittelaktive Abfälle einerseits und hochaktive Abfälle andererseits fallen in unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen an, mit bzw. ohne hohe inaktive Salzfrachten, zwingen zu anderartigen Endlagertechniken und – und dies ist der Punkt hier – fallen zu verschiedenen Zeitpunkten mit unterschiedlichen Mengen an. Nach unserem Konzept sofortige Verfestigung von LLW und MLW mit ca. 3'000 – 4'000 m<sup>3</sup> "Endprodukt" pro Jahr, HLW nach einer angemessenen Kühlzeit mit etwa 100 – 120 m<sup>3</sup> pro Jahr. Technologisch stellt sich der eine Teil als Mengen-, der andere Teil als Wärmeproblem.

Obwohl die Techniken zur Verarbeitung und Endlagerung von LLW und MLW seit Jahren weltweit bekannt sind, versuchen wir zur Konzeptverbesserung diese beiden Schritte zu vereinigen: so ist eine behälterlose Endlagerung in ausgesolten Kavernen geplant.

Die Herstellung von Kavernen ist heute Stand der Technik. Zur Festlegung des optimalen Konditionierungsverfahrens der schwach- und mittelaktiven Abwässer werden in einem F + E-Programm gegenwärtig zwei Varianten untersucht. Einmal werden die flüssigen Abfälle über Tage mit

hydraulischen Bindemitteln und geeigneten Zuschlagstoffen zu einem pumpfähigen Brei angerührt und anschliessend in die Kaverne geleitet. Zum anderen kann über Tage durch Zusetzen von Bindemitteln und mit Hilfe einer entsprechenden Verfahrenstechnik ein rieselfähiges Produkt etwa in Form von Pellets oder einer Krümelmasse erzeugt werden, welches ebenfalls in die Kaverne eingebracht wird. Beide Produkte härteten anschliessend in der Kaverne aus, bilden letztlich einen monolithischen Block und kommen im Endzustand dem ursprünglichen ungestörten Gebirgszustand wieder recht nahe. Die langfristige Sicherheit dieses Endlagerverfahrens wäre somit kaum noch zu übertreffen, wenn die Untersuchungen, wie erwartet, zufriedenstellend verlaufen.

Zum "Wärmeproblem HLW": Ein Einlagerungsversuch mit echten verglasten hochaktiven Abfällen in einer geologischen Formation ist bisher noch nicht durchgeführt worden. Dies beruht jedoch nicht auf fehlender Technik, sondern bisher stehen noch nirgendwo repräsentative Abfälle in ausreichender Menge für die Durchführung eines solchen Versuchs zur Verfügung. Mit einer geplanten Versuchseinlagerung im Salzbergwerk Asse soll in der Bundesrepublik dieser entscheidend wichtige Schritt aber nunmehr getan werden.

Das Problem der Wärmeerzeugung von hochaktiven Abfällen wird sehr häufig angesprochen, doch kann es nicht als langfristig bezeichnet werden, denn die Wärmeerzeugung durch radioaktiven Zerfall ist innerhalb von fünf bis acht Dekaden auf so niedrige Werte gefallen, dass eine merkliche Temperaturerhöhung in der Umgebung der eingelagerten Abfälle nicht mehr auftreten kann. Die bedeutenden Wärmemengen jedoch, die in den ersten Jahrzehnten aus den hochaktiven Abfällen freigesetzt werden, müssen durch eine geeignete geometrische Anordnung der Abfallkörper im Salzgestein so an dieses abgegeben werden, dass ein Sicherheitsproblem nicht auftritt. Es sind bereits eine grosse Reihe von Vorarbeiten geleistet worden, wie z.B. Computer-Berechnungen und in-situ-Versuche über die Wärmeableitung an das Salzgestein. Das Problem ist weitgehend gelöst, an Einzelheiten wird noch gearbeitet. Nicht diskutierte, aber existierende Probleme für die Umgebung durch die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Salzstock ergeben sich im Zeitraum der Betriebsphase, d.h. zu der Zeit, in welcher das Endlager befüllt wird. Dann nämlich ist der natürliche Abschluss der Salzlagerstätte vom Grundwasser durch Schächte und Bohrungen unterbrochen. Andererseits sind diese Schächte und Bohrungen aber unumgänglich notwendig, um die Endlager in einem Salzstock anlegen und betreiben zu können. Zu dieser Zeit könnte sich also ein Wasser- oder Laugeneinbruch ereignen. Die Wahrscheinlichkeit dafür kann aber durch sorgfältige Planung und durch korrekten Betrieb des Endlagers ausserordentlich klein gestaltet werden.

Der zweite Problemkreis, den ich nach der "Technik" ansprechen möchte, ist die Frage nach dem Risiko der Endlagerung: Endlagerung ist so definiert und muss so praktiziert werden, dass nach Abschluss des Endlagerbetriebs und ordnungsgemässer Versiegelung des Endlagers weitere Wartungs- und Sicherungsmassnahmen entbehrlich sind: Die endgelagerten radioaktiven Abfälle können dann grundsätzlich sich selbst überlassen werden.

Es ist deshalb nur allzu verständlich, dass sich gerade zum Risiko "Endlagerung" zweifelnde Fragen und Sorgen ergeben; ausschlaggebend sind

dabei nicht zuletzt die oft zitierten hohen Aktivitätswerte, die hohe rel. Radiotoxität und die z.T. extrem langen Halbwertszeiten einiger  $\alpha$ -Strahler.

Bei der Abschätzung und Beurteilung einer zu erwartenden Strahlenexposition bzw. des Risikos eines tatsächlichen Strahlenschadens durch endgelagerte hochaktive Abfälle sind jedoch nicht die rel. Radiotoxität, sondern die getroffenen Schutzmassnahmen von ausschlaggebender Bedeutung. Diese Schutzmassnahmen umfassen insbesondere:

- die Qualität des endgelagerten Abfalls (Auslaugbeständigkeit),
- die Auswahl des Endlagers (tief unter jeglichem Nutzwasserspiegel liegende geologische Formation in einem tektonisch beruhigten, d.h. erdbebenarmen Gebiet); in der Bundesrepublik Deutschland sind dafür wie gesagt Salzgesteininformationen vorgesehen, die in sich trocken (sonst gäbe es dort kein Salzgestein mehr!) und plastisch sind (ggf. durch geologische Bewegungen verursachte Risse dichten sich von selbst wieder) und
- die Sorgfalt der Einlagerung und der abschliessenden Versiegelung des Endlagers.

Somit bleibt im Grunde nur zu gewährleisten, dass der dichte Einschluss dieser Abfälle im Endlager für ausreichend lange Zeit unversehrt bleibt (sicherer Ausschluss aus dem Biozyklus); der oft zitierte Vergleich mit Aufbereitungsrückständen zeigt, dass diese Zeit um die 700 – 1'000 Jahre liegt!

Zur Risikobeurteilung muss außerdem noch berücksichtigt werden, dass z.B. Erzaufbereitungsrückstände ohne jeglichen Schutz gegen Auslauung an der Erdoberfläche (d.h. der Witterung ungeschützt ausgesetzt) oder in Klärteichen abgelagert werden und somit leicht in das Grundwasser gelangen. Ein Rückschluss der relativen Radiotoxität auf die zu erwartende Strahlenexposition bzw. das Risiko eines tatsächlichen Strahlenschadens durch eingelagerte radioaktive Abfälle führt deshalb zu dem Ergebnis:

Sorgfältig konditionierte und ordnungsgemäss endgelagerte radioaktive Abfälle stellen kein untragbares Risiko mehr dar.

Erste Ergebnisse einer Risikoanalyse, die zur Zeit für das Salzbergwerk Asse als Modellfall für ein Endlager hochaktiver Abfälle erarbeitet wird, zeigen, dass es langfristige Risiken für die Umgebung nur geben kann, wenn Wasser oder Lauge in das Endlager hineingelangen, dort Radionuklide aus den Abfällen herauslösen und die anschliessend aus dem Endlager hinaus in den Biozyklus transportieren kann. Werden also die Endlager für radioaktive Abfälle so ausgelegt, hergestellt, befüllt, wieder verschlossen und versiegelt, dass ein Kontakt von zirkulierendem Grundwasser mit den endgelagerten Abfällen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, so sind auch die langfristigen Risiken vernachlässigbar klein. Dabei sind sowohl die Zeiten betrachtet worden, die bis zum völligen Abklingen der Spaltprodukte erforderlich sind, also maximal 1'000 Jahre, als auch diejenigen, die zu einem weitgehenden Abklingen der Aktiniden führen, also ca. 1 Mio. Jahre.

Es soll mit diesen kurzgefassten Ausführungen keinesfalls bekundet werden, dass es keinerlei langfristige Probleme bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle gibt. Andererseits muss aber gesagt werden, dass das Restrisiko bei der Endlagerung auch langfristig durchaus tragbar ist.

Und nun zum m.E. gewichtigsten Komplex im Bereich "Entsorgung": amerikanisch als "public acceptance" bekannt, lassen Sie es mich als "Kommunikationsschranke Normalbürger/Wissenschaftler" sehr spitz formulieren.

Es ist dies zweifellos keine Frage der Kerntechnik allein, sondern ein Problem unserer hochtechnisierten Welt mit zunehmenden Umweltbeeinflussungen negativer Art.

In den letzten 10 Monaten haben wir in der Bundesrepublik im Zusammenhang mit der Standorterkundung alternativer Standorte diesen Punkt sehr intensiv erlebt. In bisher etwa 40 Diskussionsveranstaltungen hat sich für mich gezeigt, dass dieses Verhältnis "Bürger"/"Techniker" keineswegs vertrauensvoll und ungestört ist. Die Sprache derjenigen, die das Projekt in der Diskussion vorstellten, hat sich ganz deutlich in eine andere Entwicklungsrichtung bewegt als die Sprache des nicht mit dem Thema befassten Einzelnen. Was bedeuten noch Ausdrücke wie "Restrisiko", "Wahrscheinlichkeit", "Störfall" für einen Menschen, der sich in seiner unmittelbaren Umgebung mit einer solchen Planung konfrontiert sieht und sein ganz persönliches "Individualrisiko" abfragt? Wie kann er präzise verstehen, wo die Unterschiede liegen zwischen Halbwertszeit und Aktivität, Gefährdungspotential, Risiko, wo zwischen rem und Curie? Was heißt das, wenn 1'000 Wissenschaftler pro-Resolutionen unterschreiben und 1'000 andere gegen die Nutzung der Kernenergie sind?

Sprache kann verbinden und auch trennen. Ich habe für mich erfahren, dass unser "Technokraten-Chinesisch" eher Gräben aufreisst und Misstrauen weckt, wer unklar spricht, muss was zu verbergen haben! Und hier beginnt dann Fragen und Neugierde in Angst und Misstrauen sehr leicht umzuschlagen. Wir alle haben sehr viel sicher aber nicht alles, gelernt und müssen weiter uns bemühen, unsere Kenntnisse und unser Wissen korrekt, aber verständlich weiterzugeben. Die Öffentlichkeit hat einen Anspruch darauf, sich ein eigenes Urteil über die technisch-sicherheitstechnischen Bedingungen und Auswirkungen der Kernenergie-Nutzung, insbesondere der Endlagerung radioaktiver Abfälle, bilden zu können.

Lassen Sie mich schliessen mit einem Ausblick, was in der weiteren Entwicklung noch in Zukunft, vor allem international, getan werden sollte:

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der radioaktiven Abfälle werden in der Bundesrepublik in enger internationaler Zusammenarbeit durchgeführt. So besteht eine Industrie-Kooperation im Rahmen der United Reprocessors GmbH. Weiterhin existiert ein intensiver Erfahrungsaustausch und eine enge Zusammenarbeit im Rahmen des Eurochemic-Abfall-Programms, beim Programm zur Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle der EG-Kommission und innerhalb des Forschungsprogramms der Internationalen Energie-Agentur. Darüber hinaus schafft ein bilaterales Abkommen des BMFT mit der US-ERDA auf diesem Gebiet die Voraussetzung für eine Verzahnung der deutschen mit dem amerikanischen Programm. Es ist klar, dass internationale Standards und Verfahren sowohl für die Behandlung als auch die Lagerung der radioaktiven Abfälle für die sichere Nutzung der Kernenergie von ausschlaggebender Bedeutung sind. Gerade dieses Gebiet ist für arbeitsteilige Zusammenarbeit sehr geeignet, nicht aber für industriell-kommerziellen Wettbewerb – schliesslich ist kein Land heute noch daran interessiert, durch günstige Preise die Abfälle der Nachbarn hereinzuholen.

Auch in anderen Ländern tritt, nicht zuletzt aufgrund der internationalen nuklearen Kontroverse, der Sicherheitsaspekt der Entsorgung im

Gesamtsystem Kernenergie, vor allem im Hinblick auf die sichere Beseitigung der radioaktiven Abfälle, zunehmend deutlich hervor.

Obwohl die Lösungswege auf dem Gebiet des Waste-Managements deutlich vorgezeichnet sind, muss festgehalten werden, dass noch einige technische Fragen nicht abschliessend beantwortet sind. Das heisst nicht, dass die Antwort noch grundsätzlich unbekannt ist oder völlig offen ist, welche Wege einzuschlagen sind. Offene Fragen bedeuten hier vielmehr, dass technische Weiterentwicklungen, Massstabvergrösserungen und Langzeitverhalten untersucht werden müssen. Bereits nach dem bis jetzt erreichten Stand der Technik kann eine sichere Verbringung der radioaktiven Abfälle aus dem Biozyklus gewährleistet werden. Die weltweit laufenden und fest geplanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden die geschilderten offenen Fragen rechtzeitig beantworten.

## Diskussion

*RosseI*: Ich bin nicht überzeugt davon, dass das thermische Problem getrennt vom Strahlungsschädigungsproblem behandelt werden kann. Mit  $10^9$  rad pro Jahr ist die Dosis im Purexglas wie in den anliegenden Salzschichten so gross, dass entscheidende Materialstörungen auftreten können. Dies wurde kürzlich in Harwell gezeigt und in Grenoble wurde mit  $10^7$  rad in diatonischen ionischen Substanzen eine hundertmal kleinere Wärmeleitfähigkeit gefunden. So scheint das langjährige Lagerungsproblem noch lange nicht gelöst und genügend erprobt zu sein. Die früheren amerikanischen Resultate mit nur Uranbrennstoffelementen sind in dieser Hinsicht nicht genügend relevant.

Man sollte deshalb warten, bis wirklich geeignete, grossangelegte und langfristige Versuche möglich geworden sind, um etwas Fundiertes aussagen zu können. Dies scheint auch die Auffassung des Vortragenden zu sein und ich möchte gerne Näheres dazu hören.

*RandI*: Die F+E-Ueberlegungen in der Demonstration der Endlagerung in der Asse sind wie folgt:

- Demonstration des Wärmeeinflusses (Temperatur) bei der Endlagerung des hochaktiven Abfalles.
- Demonstration des Einflusses der Strahlung auf das umgebende Gestein
- Demonstration der Endlagerung "echter" Glasblöcke (Temperatur + Strahlung).

Bisher wurden die Temperaturfeldversuche (seit 1969) durchgeführt, Ende 1976 wird mit der Endlagerung von Kugel-Elementen aus dem AVR-Reaktor, Jülich, die Phase II (Strahlungseinfluss) begonnen. Ab 1978/79 werden hochaktive Glasblöcke eingelagert werden.

Die bisherigen Erfahrungen haben keine Erkenntnisse gebracht, dass die Art der Versuche, bzw. die zeitliche Reihenfolge, in ihren Ergebnissen irgendeine Besorgnis über die Sicherheit der Endlagerung notwendig machte.

*Kühn* führt zur selben Frage aus:

1. Mitte der 60er Jahre ist in den USA in einem Salzbergwerk ein Versuch durchgeführt worden, bei dem ausgebrannte Brennelemente anstelle von verfestigten hochaktiven Abfällen eingelagert worden sind. Die

- Dosisbelastung, welche das Salz dabei empfangen hat, betrug bis zu  $10^{11}$  rad. Diese beschränkte sich auf den unmittelbaren Nahbereich des Bohrloches. Dabei wurde keinerlei Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften festgestellt.
2. Bestrahlungsversuche an Steinsalzproben zur Untersuchung des "Wigner-Effektes" in den USA und in Deutschland haben ergeben, dass die gespeicherte Energie (stored energy) nur 5 – 10 cal/g betrug, also im Hinblick auf die Endlagerung vernachlässigbar klein ist.
  3. In Zeitrafferexperimenten im Kernforschungszentrum Karlsruhe sind Glasproben mit Cm-242 versehen worden, um die Dosisbelastungen zu erreichen, die normalerweise erst nach einigen tausend Jahren Endlagerung erreicht werden. Die Karlsruher Proben haben bisher Dosisbelastungen um ca. 3'000 a erhalten. Dabei sind keinerlei chemische und physikalische Veränderungen der Gläser festgestellt worden.
  4. Wegen einer möglichen Rekristallisation an hochaktiven Gläsern geht die Entwicklung heute zu Glaskeramiken, welche von vornehmlich eine kristalline Struktur haben.
  5. Die Frage der Wärmeleitfähigkeit wird auch unter erhöhten Temperaturen und hohen Dosisbelastungen mit in die Berechnungen einbezogen, sodass ein Aufschmelzen des Glases und des Salzes ausgeschlossen ist.

*Mislin:* Sie sagen, für die Endlagerung liege die Verantwortung ausschliesslich beim Staat. Die Verantwortung wird somit nach alter Konvention nach oben delegiert. Müsste aber nicht, da ja die Hauptprobleme der Endlagerung auf technischem Gebiet liegen, eine Verantwortungsgemeinschaft eingesetzt werden, wobei der Staat nur die Verantwortungsspitze bedeuten würde?

*Randl:* Bei der üblichen Genehmigung einer kerntechnischen Anlage nach § 7 des Atomgesetzes der Bundesrepublik Deutschland geht die Praxis wie folgt: Der Antragsteller beantragt bei der zuständigen Genehmigungsbehörde eine atomrechtliche Genehmigung. Die Behörde prüft durch Gutachter und Sachverständige. Weiterhin beaufsichtigt der Bundesminister des Innern im Rahmen einer Rechts- und Zweckmässigkeitsaufsicht unter Beratung durch die Reaktorsicherheits- und die Strahlenkommission.

Analog läuft auch das Planfeststellungsverfahren für die Genehmigung des Endlagers im Rahmen der staatlichen Zuständigkeit. Antragsteller ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Materiell ist das Planfeststellungsverfahren mit dem atomrechtlichen Genehmigungsverfahren gleich. Es ist also auch hier eine strenge, klare Trennung zwischen Antragsteller und Genehmigungsbehörde verankert.

## 2. J. Pradel et M. Macqueron (Fontenay-aux-Roses): Le problème des stockages de déchets radioactifs et les solutions françaises

### Introduction

La plupart des activités humaines sont à l'origine de nuisances pour l'homme et son environnement, notamment par suite de la production associée de

déchets de diverses natures. Le public a maintenant parfaitement conscience du fait que l'amélioration de son niveau de vie passe par un développement de l'activité industrielle, une augmentation de la production d'énergie et donc par un accroissement du volume des déchets produits. Il est particulièrement sensibilisé par l'industrie nucléaire soupçonnée de créer de nouveaux types de dangers jusqu'ici inconnus et de se montrer trop confiante, voire négligente, dans le domaine de la sûreté, à l'instar des industries qui l'ont précédée.

Avant d'examiner le bien fondé de ces accusations, il est bon de rappeler cependant les faits suivants:

L'énergie nucléaire est sans aucun doute la première forme d'énergie pour laquelle on se voit soucié des nuisances possibles, dès ses débuts et avec un tel luxe de moyen. Le fait que les travaux aient été généralement effectués dans le cadre d'organismes d'état a contribué largement au développement de l'effort de sécurité. Les échanges internationaux en ce domaine ont été très intenses et de nombreux organismes tels que la Commission Internationale de Protection Radiologique, L'Agence Internationale de l'Energie Atomique, l'Agence de l'Energie Nucléaire, l'Organisation Mondiale de la Santé, ont apporté leur contribution pour coordonner les efforts et harmoniser les doctrines. Les normes pour assurer la radioprotection des travailleurs et du public qui sont admises par l'ensemble des pays proviennent des recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) constituée par des experts choisis pour leur compétence par les autres membres et qui siègent bien entendu, à titre personnel, conférant ainsi à cet organisme une autorité qui résiste aux attaques les plus diverses.

S'il semble bien admis maintenant que l'usage de l'énergie nucléaire, sous les formes connues actuellement, est indispensable pour répondre aux besoins de l'humanité en énergie, il est cependant probable que cette forme d'énergie sera remplacée un jour par d'autres, génératrices d'autres types de nuisance. Le problème des déchets que nous examinons ici est donc vraisemblablement un problème limité en ce qui concerne les quantités produites et la durée de cette production.

## Expérience de la France dans le domaine du cycle de combustible

### La France possède:

- 3 divisions minières, avec des usines de concentration de minéral, produisant 1800 t d'uranium par an,
- des usines de fabrication des matières de base: Uranium métal, hexafluorure d'uranium,
- une usine d'enrichissement,
- des usines de fabrication des éléments combustibles,
- 10 réacteurs de puissance représentant actuellement 3 GWe installés, sans compter les centrales qui doivent être couplées en 76, et un programme en cours devant représenter en 1985 60 réacteurs et 50 GWe,
- 2 usines de retraitement de combustible, dont l'une est en cours d'aménagement pour pouvoir traiter 1'000 t/an de combustibles à uranium enrichi en provenance des réacteurs à eau légère.

A ce bilan d'installations s'ajoutent plusieurs centres d'études nucléaires, comportant des réacteurs expérimentaux, et des laboratoires où sont manipulés des radio-éléments.

Le premier réacteur français a divergé il y a maintenant plus de 25 ans. La France a donc une expérience déjà ancienne en matière nucléaire, et en gestion des déchets produits.

## Réalisations françaises

### Conditionnement

En France un gros effort est fait pour réduire les volumes. Dans ce but on a développé les installations de découpage et de tri, permettant d'éliminer les parties non radioactives contenues dans les déchets, et les installations de décontamination, notamment pour les ferrailles et le matériel. On emploie de plus en plus les presses à compacter qui permettent une réduction de volume d'un facteur 3 à 5 et qui, associées à une installation de bétonnage, permettent d'obtenir un déchet conditionné présentant une bonne tenue mécanique favorable à l'enfouissement en surface.

L'incinération, procédé coûteux mais particulièrement intéressant pour réduire le volume puisque l'on atteint un facteur 100 couramment et un facteur 25 en poids, a vu son utilisation décroître par suite des difficultés rencontrées pour la filtration des gaz chauds généralement corrosifs surtout du fait de la présence de P.V.C. Mais la technologie fait des progrès notamment avec l'apparition de filtres fonctionnant à haute température, et il ne fait pas de doute que cette technique présente actuellement un regain d'intérêt.

Après mise en forme, on procède à un traitement appelé d'une façon très générale enrobage, qui est effectué actuellement en France par trois procédés: le béton, le bitume, les résines thermidurcissables. Le but recherché est la formation d'un bloc monolithique facilitant le transport et le stockage.

Pour le béton, la mise en œuvre est simple, ne nécessite pas de présage et s'effectue à froid. Les composants du béton doivent être choisis en fonction du produit à enrober, si l'on veut obtenir un bloc résistant. Le principal inconvénient du procédé est qu'il augmente les volumes et les poids. La fraction de déchets enrobés représente 20% du volume total.

Pour le bitume, l'ensemble du procédé s'effectue à chaud, ce qui nécessite un certain nombre de précautions. De plus, le bitume flue et doit être placé dans un fût métallique. La fraction de déchets enrobés est de l'ordre de 50%.

Les résines thermodurcissables sont encore au stade de l'expérimentation mais les résultats sont prometteurs. La fraction de déchets enrobés est de l'ordre de 60%.

Les deux dernières méthodes font gagner un facteur 2,5 sur le volume par rapport au béton. Par contre, ce dernier joue un rôle de blindage.

Chaque site de centrale nucléaire comportera une station de solidification. Celles qui sont en cours de construction actuellement utiliseront le béton, parce que c'est le procédé dont on a la plus grande expérience, mais ceci ne préjuge pas de l'utilisation future des deux autres procédés qui sont très probablement appelés à un bel avenir.

## Conclusions

On s'est attaché à montrer que les nuisances nucléaires n'étaient pas différentes de certaines nuisances naturelles et que, en ce qui concernait les déchets, il était possible de faire en sorte que leur nuisance soit du même ordre de grandeur que les nuisances naturelles.

On doit revenir sur l'idée que le recours au nucléaire est aujourd'hui indispensable pour diversifier les sources d'énergie utilisées. En France, nous savons qu'on ne peut pas tirer beaucoup plus d'énergie hydraulique, que le charbon et le pétrole s'épuisent. Les énergies nouvelles: géothermie, énergies éolienne et solaire sont très loin de pouvoir passer au stade de la réalisation à grande échelle. Enfin, elles ont peut-être aussi leur nuisance. Pour la géothermie: c'est le refroidissement à très long terme des sites utilisés, pour l'énergie éolienne: c'est la présence de très grosses unités modifiant le régime des vents, avec l'existence de forêts de pylônes, et de bruits, pour l'énergie solaire: c'est l'utilisation de récepteurs de plusieurs kilomètres carrés faisant varier la réflexion par le sol et peut-être changer le climat.

Toute production d'énergie, en plus de sa nuisance spécifique, présente toute une série de nuisances communes, dont beaucoup sont passées jusqu'à présent inaperçues du fait de la petite taille des installations: on en prend actuellement conscience à l'occasion des constructions nucléaires à cause du changement d'échelle, et c'est une des raisons pour lesquelles on transpose son inquiétude sur la nuisance spécifique du nucléaire. Mais jusqu'à présent, l'expérience montre qu'elle a été inférieure à celle des autres types d'énergie, et on peut raisonnablement défendre l'hypothèse qu'elle est peut-être la moins nuisible.

Pourquoi le public continue-t-il à s'inquiéter et pourquoi ne réussit-on pas à le rassurer? Il est difficile, en matière nucléaire, d'administrer à priori une preuve absolue de la non détérioration du milieu dans les siècles à venir. Cela peut paraître plus facile pour d'autres industries. Si en aval de l'usine l'eau de la rivière reste claire, on peut dire que la rivière n'est pas polluée. Mais les scientifiques nucléaires ont bien dit que les effets des radiations n'étaient pas perceptibles par les sens et que la rivière pouvait être contaminée gravement sans affecter la clarté de l'eau ni le comportement des poissons. Alors on comprend l'affolement du public qui n'a plus ses repères habituels. Comment le rassurer? Il est difficile de le rassurer par le raisonnement. On ne peut pas lui apprendre trop de choses comme la physique nucléaire, les lois de la dispersion et de l'éventuelle reconcentration dans les divers milieux, le cheminement des radioéléments vers l'homme par la chaîne alimentaire, l'action des radioéléments absorbés, les organes critiques, etc.

Il faut lui trouver des explications simples; l'existence de la radioactivité naturelle nous paraît être la meilleure justification. Mais il arrive un moment où il faut dire au public qu'il doit faire confiance; on lui affirme que le nécessaire est fait, et on peut lui décrire les précautions prises et lui montrer les résultats obtenus. Mais une partie du public n'aime pas faire confiance. Elle a tendance à s'imaginer qu'elle agit toujours dans le sens de la sécurité, que donc plus elle s'agit, plus les résultats seront bénéfiques, et que, chaque fois qu'un projet a été abandonné, c'est que ce projet était nécessairement néfaste, et qu'elle a donc eu bien raison de s'inquiéter et d'agir. La réalité n'est pas toujours conforme à cette façon de voir...

Pourquoi certains scientifiques participent-ils à cette campagne contre le développement de l'énergie nucléaire? Pourquoi aboutissent-ils à des conclusions si alarmantes sur l'action que pourrait avoir, à long terme, l'utilisation de l'énergie nucléaire sur l'avenir de l'humanité?

Distinguons d'abord parmi ces scientifiques ceux qui sont compétents dans le domaine de la radiobiologie et ceux qui ne le sont pas. Je citerai ici M.A. Giraud, Administrateur Général du Commissariat à l'Energie Atomique, qui déclarait récemment: "Je m'étonne parfois que, dans le débat désordonné qui est en cours, on donne le même poids à l'expert nucléaire le plus chevronné, reconnu comme tel par ses pairs, nationaux et internationaux, et — pour prendre un exemple — à tel ornithologue venu récemment à l'étude des rayonnements, qui n'aura pas, ensuite, sa responsabilité engagée dans la réalisation, et dont la supériorité sur le plan de l'objectivité n'est pas établie".

Les scientifiques compétents pessimistes tirent argument de la marge d'inconnu qui subsiste dans les effets à très long terme des rayonnements ionisants et mettent en cause les normes fixées par les organismes internationaux compétents. Il ne fait pas de doute que toute action humaine comporte une part de risque à très long terme mais il faut bien être conscient que plus le dommage résultant sera faible, plus il sera difficile d'en faire la preuve. Ce qui importe c'est que ce dommage ne dépasse pas en intensité les dommages résultant de nos actions habituelles et qu'il ne soit pas discernable. Nous croyons sérieusement que le risque est acceptable, nous savons qu'il est bien inférieur à celui découlant de l'usage du tabac, de l'alcool, des véhicules automobiles, du travail et probablement aussi de l'irradiation naturelle aux sports d'hiver ou de l'exposition aux rayons ultraviolets sur la plage en été, ... et peut-être aussi, pourquoi pas, de pratiques dont les effets à long terme ne sont pas étudiés et restent indiscernables telles que l'hygiène corporelle, le chauffage et le confort dans l'habitat, la consommation de tel ou tel aliment, ...

Pour clore ces conclusions, revenons aux déchets radioactifs, et résumons ce que nous en avons dit. Le problème a été abordé et approfondi dès le début du développement du nucléaire. Des études importantes lui ont été consacrées, et des réalisations pilotes et industrielles existent dès maintenant. On dispose actuellement de solutions opérationnelles garantissant qu'aucun danger n'est à craindre pour le présent et l'avenir immédiat. En ce qui concerne un plus long terme, c'est-à-dire une solution définitive, des choix doivent être faits entre diverses options techniques que dès maintenant l'on sait réalisables.

## Discussion

*Rossel:* L'exposé de M. Pradel contient un certain nombre d'hypothèses optimistes qui représentent à mon sens un défi grave à la science et à la technique pour ne pas parler de la politique et de la sociologie. Dans quelle mesure les solutions temporaires présentées sont-elles suffisamment réversible pour ne pas engager l'avenir de manière irréparable? En particulier la forte contamination en transuraniens des blocs vitrifiés constitue une menace pour l'avenir. Les solutions fondées sur des dépôts pratiquement à

ciel ouvert et sur des dépôts d'attente sous contrôle permanent durant 50 à 100 ans, si elles permettent de "réfléchir" à une solution encore à trouver ne paraissent pas acceptables dans la situation d'accumulation rapide et difficilement contrôlable de la production des déchets de l'industrie nucléaire.

Quelle est la réaction du conférencier vis-à-vis de ces remarques?

*Pradel:* Je ne comprends pas pourquoi réfléchir serait un défi à la science. Les solutions temporaires adoptées pour les produits de fission sont essentiellement réversibles et ne sauraient engager l'avenir de façon irréparable. Je ne vois pas la nécessité de choisir rapidement une solution entre plusieurs qui nous paraissent acceptables alors que plus on attend plus la manipulation devient aisée. Les solutions ne sont pas "à trouver" mais "à améliorer" en fonction de certains facteurs géographiques, économiques ... Je ne vois pas d'inconvénient de principe à conserver certains contrôles pendant plusieurs décennies. La plupart de nos réalisations imposent aux générations futures un certain entretien. C'est une question de bilan entre ce que nous leur laissons de positif et de négatif. Nous cherchons à rendre ce bilan le plus positif possible, c'est pour celà que nous "réfléchissons" en faisant des hypothèses non pas optimistes, mais réalistes, pour évaluer quantitativement les conséquences et non pas pour porter des jugements superficiels sans support scientifique.

*M.A. Stoll:* L'Office fédéral de l'énergie a préparé un rapport sur le problème des déchets radioactifs. Ce rapport porte la date du 4 décembre 75. A la page 7 on apprend que la radiotoxicité des déchets vitrifiés après 500 ans était 1'000 fois supérieure à celle d'un mineraï d'U ordinaire et cela pendant un million d'années environ. (La radiotoxicité est mesurée par les quantités d'eau nécessaires pour obtenir une concentration "admissible". La majorité du Pu a été séparé, mais pas les autres transuraniens). Pourriez-vous prendre position au sujet de ces chiffres qui diffèrent à première vue des vôtres?

*P. Tempus:* Es ist unkorrekt und hilft nicht bei einer sachlichen Diskussion, wenn man aus einem langen Bericht einen Satz, herausgerissen aus seinem Zusammenhang, zitiert. Es müssen die Randbedingungen bekannt sein, von denen der Bericht ausgeht, um die zur Diskussion gestellte Behauptung werten zu können. Der Interpellant sagt selber, dass von der Radiotoxizität des Glasblocks die Rede ist. Entscheidend ist aber eine ev. Radiotoxizität von Wasser, das einen solchen Glasblock auslaugt und bis in die Biosphäre gelangt.

*R. Peduzzi:* J'aimerais avoir plus d'informations sur la composition de la structure géologique où les tranchées bétonnées sont placées; éventuellement les caractéristiques essentielles du milieu environnant et la localisation géographique des régions montrées dans les clichés.

*J. Pradel:* Le site de la Hague se trouve à la pointe de la presqu'île de Cotentin, au Nord Ouest. Il est situé en bordure de mer ce qui donne une certaine garantie en ce qui concerne l'influence de rejets accidentels qui se trouveraient ainsi rapidement dilués dans la mer. Le sol n'est pas très homogène mais les tranchées sont creusées dans des schistes qui présentent un bon pouvoir absorbant. Il s'agit d'une zone à faible densité de population qui a été

retenue surtout à cause de la présence du Centre D'Etude Nucléaires attenant. L'étude géologique du site a été effectuée. On s'est particulièrement attaché à l'étude de la circulation des eaux.

### 3. W. Hunzinger (Bern): Spezifikation der Spaltprodukte bei ihrer Beseitigung

Durch die Art der Wiederaufarbeitung von ausgebrannten Brennelementen der Kernenergiegewinnung hat man es in der Hand, die Zusammensetzung und damit die Eigenschaften der Spaltprodukte, welche als radioaktiver Abfall behandelt und beseitigt werden müssen, zu bestimmen. Die spaltbaren Bestandteile der Brennelemente, nämlich das nicht verbrauchte Uran und das erzeugte Plutonium, werden bei der Aufarbeitung abgetrennt, gereinigt und im Falle des Urans der Isotopenanreicherung und der Weiterverarbeitung zu neuen Spaltstoff-Brennelementen zugeführt. Die übrig bleibenden stark radioaktiven Lösungen enthalten die Mischung der Spaltprodukte und Reste von Uran, Plutonium und andere Transuranelemente.

Die Gesamtaktivität der Spaltprodukte fällt in den ersten Jahren um 2 Größenordnungen; nach 10 Jahren stammen 93% der Aktivität von den zwei langlebigen Spaltprodukten Strontium-90 und Zäsim-137, und nach 100 Jahren sind es 96%. Nach 1'000 Jahren jedoch sind auch diese beiden langlebigen Betastrahler zerfallen und die Hauptaktivität (97%) des Gemisches wird von den Transuranen gebildet, welche dank ihrer sehr langen Halbwertszeiten die Spaltprodukte buchstäblich überleben. Diese ausgesprochene Dominanz der Transurane in 1'000 Jahre alten Spaltprodukten hängt direkt von ihrer ursprünglichen Beimengung im Gemisch ab. Je besser die Trennung der Spaltprodukte von den Transuranen während der Brennstoffaufbereitung vorgenommen wurde, desto geringer ist die Aktivität des Abfallgemisches nach 1'000 Jahren Abklingzeit. Die Trennfaktoren bestimmen also direkt die Lebensdauer der radioaktiven Abfälle. Für deren Beseitigung ist es nicht belanglos, ob nach 1'000 oder vielleicht 10'000 Jahren ein geologisches Depot beseitigter radioaktiver Abfälle die spezifische Aktivität des umliegenden Gesteins beinahe erreicht hat, oder ob man dazu eine Million oder mehr Jahre warten muss. Aus offensichtlichen Gründen ist es wesentlich leichter das Langzeitverhalten von Lagergut aus z.B. 100-jährigen Beobachtungen auf 1'000 Jahre als auf geologische Zeitspannen zu extrapolieren.

Daraus folgt, dass die zu erzielenden Trennungen zwischen Spaltprodukten und Transuranen bei der Brennstoffaufarbeitung einen wesentlichen Faktor darstellen für die Erfordernisse, die bei der Beseitigung radioaktiver Spaltprodukte aus der Kernenergieerzeugung beachtet werden müssen. Nach den heute üblichen Technologien erzielt man Trennfaktoren von 99,5% für Uran und Plutonium,

Americum und Curium werden überhaupt nicht abgetrennt.

Trennfaktoren von 99,9% für Uran, Americum und Curium, und 99,99% für Plutonium hätten zur Folge, dass nach Abklingen der Spaltprodukte, z.B. in

5'000 Jahren, die spezifische Radioaktivität des Abfalldepots in die Grössenordnung natürlicher Mineralien zu liegen kommt. Die radioaktiven Abfälle in einem solchen Depot wären dann nicht nur beseitigt, sondern sie dürften auch vergessen werden, weil ihre Radiotoxizität sich nicht von derjenigen ihrer natürlichen Umgebung unterscheiden lässt.

Meines Wissens existieren noch keine behördlich festgelegten maximal zulässigen Beimengungen von Transuranen in den Spaltprodukten. Liegen solche, wenn möglich in internationaler Zusammenarbeit aufgestellte Spezifikationen einmal vor, dann werden die notwendigen Trennverfahren entweder angepasst, oder es werden, wenn nötig, neue Verfahren entwickelt werden. Forschungsansätze dazu sind bereits vorhanden.

#### Diskussion:

*H. Mislin:* Besteht die Möglichkeit, dass langlebige Transurane in den Spaltprodukten in geologischen Zeiträumen wieder in die Biosphäre zurückgelangen könnten? Was versteht man genau unter zulässigen Beimengungen von Transuranen in den verfestigten Spaltprodukten aus der Kernenergie?

*W. Hunzinger:* Wissenschaftlich gesprochen besteht die Möglichkeit, dass langlebige Transurane aus einer Spaltproduktdeponie in einer geologischen Formation in die Biosphäre gelangen. Mit welcher Wahrscheinlichkeit und in welchem Ausmass dies geschieht, hängt von vielen Faktoren ab, so z.B. von der chemischen Form der Abfälle, ihrer Verpackung, vom Wirtsgestein, von den umliegenden Gesteinsschichten, von der Hydrologie, von topographischen Veränderungen, Erosion etc. In einer sicheren Deponie von Spaltprodukten muss, wie das in einem Nuklearbetrieb üblich ist, eine Anzahl Barrieren von genügend grosser Undurchlässigkeit das Risiko der Rückführung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre durch alle denkbaren Einflüsse auf ein akzeptables Mass reduzieren.

Zulässige Beimengungen von Transuranen in verfestigten Spaltprodukten sind behördlich festgelegte obere Grenzen der Transurangehalte in verfestigten Abfällen. Solche Grenzwerte sind in der Schweiz noch nicht festgelegt.

*M. Camani:* Das Symposium nennt sich "Probleme der Deponie radioaktiver Abfälle". Wir haben schon drei Vorträge gehört, aber bis jetzt war von keinem einzigen Problem die Rede. Es sieht so aus nach den drei Vorträgen, wie wenn gar kein Problem, keine Schwierigkeit, keine Gefahr existierte. Da das offensichtlich nicht stimmt, möchte ich ganz konkret fragen, vor welchen Schwierigkeiten der Einsatz der Purex-Trennverfahren in den geplanten grossen Wiederaufbereitungsanlagen heute steht.

*W. Hunzinger:* Jede Manipulation grosser Mengen radioaktiver Stoffe, wie das in Wiederaufbereitungsanlagen der Fall ist, erfordert eine ausgeklügelte und komplizierte Technik, welche bei Störfällen und Interventionen für die Belegschaft ein Bestrahlungsrisiko darstellt, und welche die Emissionen radioaktiver Stoffe in die Umwelt nicht restlos vermeiden kann. Ein grosstechnisch heute noch ungelöstes Problem besteht in den genügend hohen

Trennfaktoren zwischen Transuranen und Spaltprodukten; dieses wird akut, sowie für die hochaktiven Abfälle der Kernenergieproduktion Deponien für lediglich 1'000 – 10'000 Jahre zur Verfügung stehen.

*M. Camani:* Welche Kritikalitätsprobleme erwartet man in den Wiederaufbereitungsanlagen infolge des höheren Plutoniumgehaltes in Brennelementen mit hohem Abbrand? Darüber liegt bis jetzt nur wenig Erfahrung vor.

*W. Hunzinger:* Der Gehalt an Plutonium, wenigstens an spaltbaren Plutoniumisopen, erreicht bei hohem Abbrand einen Sättigungswert, wenn die Brutrate der Spaltrate das Gleichgewicht hält. Bei der Aufarbeitung von Pu-haltigen Brennelementen treten Kritikalitätsprobleme des Pu erst auf, nachdem dieses in einem kontinuierlichen Prozess abgetrennt und konzentriert wird, d.h. in den Reinigungszyklen des Plutoniums und bei seiner Umwandlung von Nitrat in Oxid. Ueber die Kritikalitätsparameter von Plutonium liegt genügend Erfahrung vor, um LWR-Brennelemente jeden Abbrandes kritikalitätssicher aufarbeiten zu können.

*J. Runyon:* In der "Atomwirtschaft" (1976) Seite 388, wurde geschrieben, dass die Schweiz als erstes Land in der Welt eine Charge Plutoniumoxid als Brennmaterial bekam. Könnten Sie uns mehr über diesen Plan für die Beseitigung von Plutonium berichten?

*W. Hunzinger:* Es handelt sich um Versuchsbrennelemente für das Kernkraftwerk Beznau, welche aus einer Mischung von Uran- und Plutonium-oxid bestehen. Diese Art Nutzung des Plutoniums, nämlich durch Spaltung, wird schon seit mehreren Jahren auch in anderen Ländern versuchsweise betrieben. Sie gelangt nur deshalb noch nicht zur häufigen Anwendung, weil die Technologie der Herstellung von Pu/U-Brennelementen kommerziell noch nicht genutzt wird. Zu einem späteren Zeitpunkt ist es jedoch denkbar, dass zwecks besserer Ausnutzung des geförderten Urans das aus dem U-238 gebrütete Plutonium nach seiner Abtrennung in speziellen Pu/U-Mischelementen zur Energiegewinnung herangezogen wird. Abgesehen von der Energiegewinnung ist durch die Rückführung des Plutoniums in den Kernreaktor dieses an einen sicheren, kontrollierten und gleichzeitig unzugänglichen Ort verbracht.

#### **4. K. Kühn (Clausthal-Zellerfeld): Die Versuchslagerung radioaktiven Abfalls im Salzbergwerk Asse**

Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen:

1. Das Salzbergwerk Asse befand sich von 1906 bis 1964 als Kali- und Steinsalz förderndes Bergwerk in Betrieb
2. Seit 1965 wird es als nationale Forschungs- und Entwicklungsstätte für die Endlagerung radioaktiver Abfälle betrieben
3. Im April 1967 wurde mit der Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle begonnen. Bisher sind rund 68'000 Behälter eingelagert worden.

4. Im September 1972 wurde zusätzlich die Versuchslagerung mittelaktiver Abfälle aufgenommen, wobei bisher 1'000 Fässer endgelagert wurden.
5. Eine Prototyp-Kavernenanlage für die Einlagerung mittelaktiver Abfälle befindet sich im Bau und wird 1979 ihren aktiven Betrieb aufnehmen.
6. Der Beginn der Einlagerung einer begrenzten Anzahl von unaufgearbeiteten carbidischen Brennelementen aus dem AVR-Versuchskernkraftwerk steht kurz bevor.
7. Für die Endlagerung verglaster hochaktiver Spaltprodukte aus dem LWR-Brennstoffkreislauf sind bisher ausschliesslich Versuche ohne radioaktives Material durchgeführt worden.
8. Das Salzbergwerk Asse kann nicht zu *dem* deutschen Endlager für alle Arten und Mengen radioaktiver Abfälle ausgebaut werden, wird aber als F&E-Stätte noch für eine ganze Reihe von Jahren eine wichtige Rolle für die Schliessung des Kernbrennstoffkreislaufes spielen.

## 5. H. Jäckli (Zürich): Das Konzept für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen in der Schweiz

### I. Anforderungen an das Wirtgestein

- A. Das Wirtgestein soll möglichst wasserundurchlässig sein, damit die in ihm eingelagerten radioaktiven Abfälle nicht über zirkulierendes Grundwasser ihre Umgebung resp. die Biosphäre kontaminieren können.
- B. Es ist erwünscht, dass Radionuklide in wässriger Lösung durch Sorption, – d.h. durch die Summenwirkung von Ionenaustausch, chemischer Fällung an der Gesteinoberfläche und physikalischer Adsorption –, möglichst weitgehend an das Wirtgestein oder dessen Umgebung gebunden werden.
- C. Die Standfestigkeit des Wirtgesteins soll die Anlage von unverkleideten Stollen und Kavernen ermöglichen. Tiefe Bohrlöcher sollen nicht durch plastische Deformation des durchbohrten Gesteins verengt oder geschlossen werden.
- D. Für schwach- bis mittelaktive Abfälle, die keine nennenswerte Wärme produzieren, sind die thermischen Gesteinseigenschaften kaum von Belang. Für hochaktive Abfälle soll jedoch das Wirtgestein hohe Wärmeleitfähigkeit und grosse Stabilität bei hohen Temperaturen aufweisen.

### II. Geologische Anforderungen an das Gesteinsvorkommen

- A. Hydrologische Aspekte: Schutz des Grundwassers und der Quellen. Es ist selbstverständlich, dass dem Schutz des genutzten Grundwassers, der Quellen, die der Wasserversorgung dienen, und allen Mineral- und Thermalquellen allergrösstes Gewicht zukommt, und dass solche Gewässer nicht durch Lager radioaktiver Abfälle kontaminiert werden dürfen.

Für Kavernenprojekte bevorzugen wir deshalb zur Zeit hochgelegene Gebiete, die oberhalb des Grundwasserspiegels der Talsohlen liegen. Einerseits soll dadurch die Gefahr von allfälligen Wassereinbrüchen *in die Deponiekaverne*, beispielsweise bei Erdbeben, verringert werden, anderseits sollen dadurch aber auch allfällige Wasserwege *von der Deponiekaverne weg* geologisch besser überblickbar und prognostizierbar sein.

B. Geologische Stabilität gegen exogene Vorgänge.

Es ist selbstverständlich, dass jede in Frage kommende Lokalität nicht durch Glazialerosion, Bergstürze, Sackungen, Rutschungen, Wildbäche oder Flusserosion gefährdet werden darf.

C. Stabilität gegen endogene Vorgänge: Krustenverstellungen und Erdbeben.

Die durch Präzisionsnivelllement nachgewiesenen langsamen Vertikalverstellungen im Gebiet der Schweiz liegen in der Größenordnung von Millimetern pro Jahr oder Metern pro Jahrtausend und dürften kaum eine akute Gefährdung für Abfallager darstellen.

Bei starken Erdbeben könnten dagegen wohl neue Verwerfungsspalten entstehen oder bereits vorhandene sich neu öffnen oder erweitern, längs denen dann neue oder verstärkte Wasserzirkulationswege sich bilden könnten. Zur Beurteilung dieses Risikos spielt eine Eigenschaft des Anhydrits eine wesentliche Rolle: Die Quellung unter Wasserzutritt mit der Umwandlung von Anhydrit in Gips unter einer Volumenvermehrung von 61%, wodurch allfällig gebildete, neue Wasseradern selbständig geschlossen werden: Der Prozess des sog. "selfhealing".

### III. Konsequenzen für die Schweiz

A. Für Kavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle:

In erster Linie: Die NAGRA sucht Vorkommen von möglichst reinem, massigem Anhydrit von relativ grosser Mächtigkeit und Ausdehnung, von möglichst einheitlicher Zusammensetzung, oberhalb des Grundwasserspiegels der nächsten Talsohle und oberhalb eines allfälligen Karstwasserspiegels gelegen, abseits von genutzten Quellen, in Gebieten relativ geringer Seismizität.

In zweiter Linie: Vorkommen von möglichst reinen *Tongesteinen*. Dazu könnten gehören:

- *Im Jura*: Der sog. Opalinuston mit einer Mächtigkeit von rund 80-100 m.
- *Im Mittelland*: Molassemergel.
- *Im Helvetikum*: Valanginienmergel, die besonders im südlichen Faziesraum Mächtigkeiten von einigen hundert Metern erreichen.
- *In den Préalpen*: Das Aalénien in Schieferfazies, mit Mächtigkeiten in den Médianes plastiques bis über 500 m.
- *Im Penninikum*: Tonreiche Bündnerschiefer.

Verglichen mit massigem Anhydrit beurteilen wir diese Tongesteine in zwei Punkten vorderhand ungünstiger:

- a. Wir befürchten, dass eine gewisse Wasserzirkulation in sedimentär zwischenlagernden Sandstein- und Kalkbänken und längs tektonisch

bedingten Scher- und Kluftflächen leichter stattfinden könnte als im Anhydrit.

b. Wir sind überzeugt, dass die stollenbautechnische Standfestigkeit dieser Tongesteine wesentlich bescheidener ist als jene von Anhydrit.

B. Für Bohrlöcher für hochaktive Abfälle:

Hochaktive, heisse Abfälle in verfestigter Form, z.B. als Glaszyylinder von 30 cm  $\phi$  und 3 m Länge, könnten wahrscheinlich am zweckmässigsten in Bohrlöchern versenkt werden.

Als geeignete Gesteine für mittelgrosse Tiefen von ca. 500 – 2'000 m beurteilen wir die folgenden:

1. Anhydrit mit steilen Strukturen, wie sie in den Alpen nicht aber im Jura möglich wären.

2. Tongesteine, wie sie in mittelgrossen Tiefen im Jura, im Mittelland und in den Alpen vorkommen.

3. Steinsalz im flachgelagerten Keuper des Neuenburger und Waadtländer Jura und dem angrenzenden Mittelland, oder im Muschelkalk des Tafeljura oder des westlichen Mittellandes abseits der heute von den Rheinsalinen beanspruchten Abbaugebiete.

4. Für sehr grosse Tiefen unterhalb 2'000 m die Granite und Gneise des kristallinen Grundgebirges.

#### IV. Untersuchungsprogramm auf Anhydrit

A. Spezifische Eigentümlichkeiten von Anhydrit:

Anhydrit kommt in der Schweiz nicht an der natürlichen Oberfläche vor, sondern erst in rund 20-30 m Tiefe; darüber ist er durch Gips ersetzt. Er muss daher zwangsläufig mittels Sondierbohrungen oder Sondierstollen erschlossen werden.

Zudem ist seit langem bekannt, dass unreiner Anhydrit unter Entlastung und Wasseraufnahme sich in Gips umwandelt, bei welchem Hydratationsprozess sich eine Volumenvergrösserung von 61% einstellt. In den norddeutschen Salzbergwerken gilt Anhydrit in Begleitung von Steinsalz als wasserführend. Rund ein Drittel der deutschen Salzbergwerke sind während des Betriebes erstoffen, meist durch Laugen aus dem Anhydrit.

Dank der relativ leichten Löslichkeit von Gips pflegt die Oberfläche der Gipsvorkommen, unterhalb denen in der Regel der dichte Anhydrit folgt, von tiefen Dolinen bedeckt zu sein, von denen aus Oberflächenwasser in den Gips eindringt und oberflächennah, im Gips gelegene Stollen erreichen könnte.

Alpine Anhydritvorkommen sind an ihrem Rande oft von Rauhwacken begleitet, in welchen erfahrungsgemäss eine rege Wasserzirkulation stattfindet und aus welchen üblicherweise Gipsquellen austreten, die durch radioaktive Abfälle natürlich nicht kontaminiert werden dürfen.

Deshalb ist es unumgänglich, dass in geeignet scheinenden Anhydritvorkommen endlich Sondierstollen erstellt werden, um im Massstab 1:1 in einem "unterirdischen Anhydritlabor" Wasserdichtigkeit, Zusammensetzung, felsmechanische Eigenschaften und Konvergenzverhalten studieren zu können. Denn die Bundesbehörden müssen in einer Schluss-

evaluation unter verschiedenen Möglichkeiten sich für die sicherste und zweckmässigste Lösung entscheiden können.

**B. Laboruntersuchungen:**

An der EMPA, am EIR, an der ETH und am geologischen Institut der Universität Lausanne wurden und werden weiterhin systematische Laboruntersuchungen an Anhydrit durchgeführt, die umfassen: Mineralogisch-petrographische Studien, Untersuchung der physikalisch-mechanischen und thermischen Gesteinseigenschaften, der Hydratationserscheinungen, der Löslichkeit, des Verhaltens unter Bestrahlung, der Sorptionseigenschaften und schliesslich der Korrosion von Verpackungsmaterial in sulfatischer Umgebung.

**C. Felduntersuchungen an Gips - Anhydrit - Vorkommen:**

Die NAGRA plant seit langem die grossräumige systematische Untersuchung geeignet scheinender Anhydritvorkommen, vorerst mittels Sondierbohrungen, anschliessend mittels Sondierstollen und -kavernen. Gleichzeitig mit den Sondierarbeiten soll auch die Erfassung der hydrogeologischen Verhältnisse erfolgen, also die Quellen- und Grundwasserstudien, die ganz selbstverständlich in engster Zusammenarbeit mit den kantonalen Amtsstellen, mit den Gemeinden und den Quellenbesitzern durchgeführt werden.

Zur Zeit stehen 5 Lokalitäten in der engeren Wahl, für welche die NAGRA beim Bund Bewilligungsgesuche für geologische Sondierungen eingereicht hat. Es sind dies:

1. "Wabrig" im aargauischen Tafeljura, Gemeinden Wegenstetten, Helli-kon, Zuzgen, Schupfart und Obermumpf.  
Ruhige Hochfläche auf ca. 550 m ü.M., landwirtschaftlich genutzt; oben die harten Kalke des Hauptmuschelkalkes, darunter die weichen Schichten der sog. "Anhydritgruppe", ca. 50 m mächtig, darunter die Wellenpegel, in flacher Lagerung mit leichter Antiklinalstruktur, von NNE – SSW – streichenden Verwerfungen durchsetzt.
2. Le Montet bei Bex/VD.  
Isolierter Hügel in der Rhoneebene nördlich Bex, 250 m hoch, ca. 650 m ü.M., an der Oberfläche aus Gips, im Kern aus Anhydrit bestehend. Das Vorkommen gehört zur ultrahelvetischen Trias der Bex – Laubhorn – Decke.  
1974 wurden durch das Konsortium Untertagespeicher drei Vertikalbohrungen von 120, 120 und 250 m Tiefe ausgeführt, von denen keine die Untergrenze des Anhydrits erreichte.
3. Stüblenen, Gemeinden Lenk und Lauenen/BE.  
Flacher Gipfel, 2'109 m hoch auf der Wasserscheide zwischen Lenk und Lauenen. Ca. 100 - 200 m mächtige Gipsplatte, wahrscheinlich mit Anhydritkern, schräg nach N einfallend, an der Oberfläche voller Dolinen. Bisher wurden hier noch keine Sondierarbeiten ausgeführt.
4. Glaubenbüelen, Gemeinde Giswil/OW.  
Wald- und weidebedecktes Gelände am Uebergang zwischen Obwalden und dem hintersten Entlebuch, 1'200 – 1'500 m ü.M.  
Gipsvorkommen von rund 4 km Länge und 100 - 300 m Dicke, zwischen Flyschschiefer eingeschuppt, flach nach SE einfallend. Bisher wurden noch keine Sondierarbeiten ausgeführt.
5. Val Canaria, Gemeinde Airolo/TI.

Im Val Canaria 2 km östlich von Airolo liegt von 1'200 bis 1'800 m ein Gipsvorkommen, dessen Kern aus alpin metamorphem, grobkörnigem Anhydrit der sog. "Bedretto-Mulde" besteht. Die Schichtung fällt mit 60 - 80° nach NNW ein; dank dieser steilen Struktur ist mit einem bedeutenden Tiefgang des Vorkommens zu rechnen.

Ein kleiner Sondierstollen von 70 m Länge wurde 1931, und eine Horizontalbohrung von 554 m Länge durch das Konsortium Untertagespeicher 1975 ausgeführt und im Anhydrit abgebrochen; die Mächtigkeit des Anhydrits übersteigt also lokal 500 m.

## V. Ausführung

Träger aller dieser Untersuchungen war von 1968 bis 1972 die Nordostschweizerische Kraftwerke AG, seither ist es die NAGRA, die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, der neben der Eidgenossenschaft 6 Unternehmen, die sich mit Planung, Bau und Betrieb von Kernkraftwerken befassen, angehören. Die NAGRA ihrerseits ist Mitglied des "Konsortiums Untertagespeicher", welches in der Schweiz mittels geophysikalischer Sondierbohrungen und Stollen die Eignung geologischer Formationen für die Lagerung von Gas, von Benzin und Öl und von radioaktiven Abfällen untersucht.

Seit Jahren werden diese mitten im Gang befindlichen Forschungen blockiert durch die Weigerung von Kantonen und Gemeinden, wissenschaftliche Sondierbohrungen und Sondierstollen, in denen so etwas wie "unterirdische Anhydritlaboratorien" eingerichtet werden sollten, zu bewilligen.

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen gilt als ein modernes Postulat des Umweltschutzes von nationaler Bedeutung. Der systematisch organisierte Widerstand gegen die Bemühungen, unter verschiedenen Varianten die sicherste Variante zu finden, zeigt, dass zur Zeit die lokalpolitischen und psychologischen Probleme schwieriger zu lösen sind als die geologischen.

Denn was die Mehrheit der Bevölkerung als zwingende Massnahmen des Umweltschutzes betrachtet und zu Recht fordert, empfindet jene Minderheit, in deren Nähe der Abfall gelagert werden soll, selbstverständlich als eine Belastung. Dieser Minderheit verständlich zu machen, dass eine solche Belastung *nicht unzumutbar* ist, dass sie nicht grösser ist als andere Belastungen, die wir alle täglich zu akzeptieren bereit sind, könnte eine grosse Aufgabe der Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung sein.

## Diskussion

*R. Peduzzi:* De façon théorique les exigences d'une région pour la construction d'un dépôt nucléaire sont:

- Aucune érosion ou dénudation
- Aucun glissement de terrain
- Isolément hydrologique absolu
- Région en légère déclivité.

Je connais très bien un cas concret où vous avez effectué les forages de Val Canaria (Airolo). Or vu de façon superficielle, mais évidente, les conditions dans cette région sont justement le contraire. Je trouve qu'en pratique il y a une divergence frappante entre théorie et pratique.

Série de clichés (Diapositives):

1. lieu de forage dans le lit de la rivière
2. très forte érosion, dénudation extrême
3. Glissements de terrain continuels
4. Région très riche en eau; source à env. 200 - 250 m en dessous du lieu de forage.

Nous sommes au début d'un bassin versant très important, celui du Tessin; le lieu ne satisfait pas aux conditions théoriques voulues et généralement acceptées (p. ex. WASH-1297, High-Level Radioactive Waste Management Alternatives; Atomic Energy Commission, May 1974). Quels critères ont été utilisés pour le choix de la région? Pouvez-vous me fournir une explication géologique?

*H. Jäckli:* Sie betonen zu Recht, dass Einlagerungen von radioaktiven Abfällen

- weder durch Erosion oder Denudation entblößt,
- noch durch Rutschungen oder Bergstürze gefährdet werden dürfen,
- und von der Grundwasserkirculation absolut isoliert bleiben müssen.

Sie empfinden es als einen Widerspruch, dass man im Val Canaria, östlich von Airolo, Sondierbohrungen gemacht hat, wo doch jener Bach eindeutig in Erosion begriffen sei und die Hänge so steil seien, dass dort Rutschungen und im Winter Lawinen möglich seien.

Wir müssen unterscheiden zwischen der Phase der Sondierungen, in der wir uns jetzt befinden, um die geologische Zusammensetzung des Untergrundes und seine Strukturen zu ermitteln, und der definitiven Platzierung einer Kaverne für die Einlagerung von Abfällen. Bei der Platzierung von Sondierbohrungen und Sondierstellen brauchen wir auf die oben genannten Bedingungen noch nicht Rücksicht zu nehmen. Ein definitives Projekt einer Lagerkaverne wird dannzumal selbstverständlich weit im Berginnern platziert werden, wo es vor Erosion und Rutschungen geschützt ist.

Auch die zahlreichen Quellen im Val Canaria sind uns wohl bekannt. Das Wasser dieser Quellen entstammt durchlässigen Schichten, wie Gips, Rauhwacke, Dolomit und geklüfteten Bündnerschiefern, die alle auch im Berginnern als durchlässig gelten, und die man deshalb mit einer Lagerkaverne meiden wird, während der Anhydrit erfahrungsgemäß trocken und undurchlässig ist. Diesen Anhydrit abzutasten, ist Aufgabe der Bohrungen und Sondierstollen, für welche zur Zeit das Gesuch um Bewilligung beim Bund anhängig ist.

Der Widerspruch, den Sie empfinden zwischen geologischen Anforderungen und ausgeführten Arbeiten, ist dementsprechend gar nicht vorhanden, weil sich die bisher ausgeführten Arbeiten noch nicht auf ein definitives Projekt beziehen, sondern erst die Phase der geologischen Abklärungen umfassen.

*K. Kreuzer:* Die Dias von Herrn Peduzzi vom Val Canaria (Erosion, Erdrutsch, Quellen unmittelbar bei der Bohrstelle) zeigen ein Beispiel. Ein anderes Beispiel: Stübenen (Berner Oberland): eine Dolinen-Landschaft.

Prof. Jäckli erwähnte Dolinen, die in Norddeutschland zu Wassereinbrüchen geführt hätten. Nach dem Gesagten von Jäckli erscheint es uns seltsam, dass man überhaupt auf den Gedanken kommen konnte, in einer solchen Landschaft (von Trichern mit Regenwassertümpeln, Schneeresten vom vergangenen Winter, sichtbarer Erosion) zu sondieren.

Ich möchte mich noch grundsätzlich zum Vorwurf von Jäckli äussern, dass wir die Forschung blockieren und uns gegen Umweltschutz sperren:

1. Wir hatten früh genug davor gewarnt, dass man solche radioaktiven Abfälle produziere. Uns nun schuldig zu sprechen, dass sie da sind, ist verfehlt.
2. Wir sind aber nicht blind, sondern sehen die Abfälle, die eine Realität sind, und die man bewältigen muss. Wir sind nicht gegen wissenschaftliche Untersuchungen, im Gegenteil, wir würden sie gerne fördern. Es ist aber unannehmbar, dass die Erforschung unter dem unerträglichen Druck aus zwei Richtungen erfolgen soll:
  - a. dem materiellen Druck der sich immer schneller ausweitenden Produktion, und
  - b. dem politischen Druck von seiten des Bundesrates, der (in der Antwort an Nationalrat Carobbio) unmissverständlich angekündigt hat, dass er auf die Meinung der Regionen keine Rücksicht nehmen werde.

*H. Jäckli:* Die Ueberflutung deutscher Salzbergwerke erfolgte nicht durch Oberflächenwasser aus Gipsdolinen, sondern durch hochmineralisierte Grundwasser aus tieferen Schichten.

Die Gipsdolinen im Val Canaria, auf Stüblenen und bei allen anderen Gipsvorkommen sind uns wohlbekannt. Es gibt bei uns keine Gipsvorkommen ohne oberflächliche Dolinen, ohne Gipsquellen, ohne frische Verwitterungs- und Erosionserscheinungen. Es wäre gerade Aufgabe der systematischen geologischen Untersuchungen, mittels Bohrungen und Sondierstollen an Ort und Stelle abzuklären, ob und in welcher Tiefe geeigneter Anhydrit vorkommt, der trocken, wasserdicht und standfest ist und von der oberflächennahen Wasserzirkulation nicht erreicht wird. Aber gerade Herr Kreuzer gehört zu jenen, die alles unternehmen, um der NAGRA diese Untersuchungen zu verunmöglichen.

*H. Siegrist:* Es ist nicht wahr, dass der Bundesrat die Meinung der Regionen missachtet, und das hat er auch nicht im Sinn. Es geht ihm um die rechtliche Situation. Herr Kreuzer aber ist gegen die wissenschaftliche Sondierung.

*K. Kreuzer:* Direktor Wisler (KKW Gösgen-Däniken) hatte neben anderen nach dem Machtwort des Bundes gerufen, und Siegrist hat das am 28. August 76 im Radio bestätigt. Ich wiederhole, dass wir *für* eine wissenschaftliche Untersuchung sind, allerdings unter den zwei Bedingungen, dass der materielle wie der politische Druck aufgehoben werden.

*Gasser:* Werden Sie das am 20. September 1976 in Giswil bestätigen?

*Kreuzer:* Ja, das werde ich, unter den genannten Bedingungen.

*Gasser:* Wie radioaktiv wäre das Wasser, wenn bei einem grossen Unfall die Radioaktivität aus den Abfällen des Lagers ausgelaugt würde?

*Pützer:* Generell kann als erstes gesagt werden, dass für die Bewilligung eines Lagers die Betrachtungsweise der Fragestellung angewendet wird, und ein Lager nur dann akzeptiert werden kann, wenn die mögliche Aktivität im Trinkwasser, selbst bei einem unwahrscheinlichen Unfall, sehr klein ist. Was unter sehr klein verstanden werden soll, kann z.B. aus einer amerikanischen Studie (BNWL-1900, Vol. 1, 1974) herausgelesen werden, wo für ein Endlager mit allen hochaktiven Abfällen der USA bis zum Jahr 2'000 bei einem grossen und unwahrscheinlichen Wassereinbruch, eine maximale Personen-dosis von ca. 1/200 der natürlichen Strahlenbelastung errechnet wurde. Diese Daten können für ein Lager in der Schweiz nicht vorbehaltlos übernommen werden, doch geben sie das Sicherheitsdenken wieder, welches auch bei einem schweizerischen Lager angewendet werden wird.

*M.A. Stoll:* Die hochaktiven Abfälle sollen in tiefen Formationen eingelagert werden. Welcher Standort von den fünf bekannten (Airolo, Bex, Wabrig, Giswil, Lenk) kommt für die Tieflagerung des stark radioaktiven Abfalls eventuell in Frage?

*H. Jäckli:* Von den fünf genannten Lokalitäten erwartet man aufgrund der bisherigen geologischen Kenntnisse, dass grössere Anhydritformationen vorhanden sind, welche für die Erstellung trockener Kavernen geeignet wären. Die vorgesehenen Sondierungen bezwecken, die geologischen Verhältnisse im Hinblick auf Kavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle abzuklären.

Mit Sondierbohrungen für die Endlagerung hochaktiver Abfälle ist noch nicht begonnen worden. An welchen Stellen der Schweiz mit solchen, für die Abklärung der geologischen Verhältnisse in grossen Tiefen begonnen werden soll, ist zur Zeit noch nicht entschieden. Diesbezügliche Sondierprogramme bestehen aber bereits.

*M. Camani:* Sie haben gerade gesagt, dass die jetzige Sondierkampagne einzig und allein die Deponien für schwach und mittelaktive Abfälle betrifft. Für hochaktive Abfälle gibt es bis heute noch keinen konkreten Plan und auch keine Vorstellung, wo man eventuelle Lagerstätten suchen könnte. Das Problem ist noch nicht angepackt worden. Daraus muss man schliessen, dass man auch nicht weiss, ob geeignete Lagerstätten in der Schweiz überhaupt existieren. Noch weniger ist sicher, wie lange wir noch unsere hochaktiven Abfälle ins Ausland schicken können. Zwingenderweise ergibt sich, dass das Problem der Endbeseitigung der hochaktiven Abfälle heute in der Schweiz noch nicht gelöst ist.

*H. Jäckli:* Es ist richtig, dass die bisher durchgeführten Sondierungen, wie auch jene, für welche die NAGRA beim Bund um die Bewilligung nachgesucht hat, sich auf Kavernenanlagen in Anhydrit beziehen, in welche schwach- und mittelaktive Abfälle in Fässern eingelagert werden sollen.

Für die Lagerung hochaktiver Abfälle, die in geologischen Formationen in grosser Tiefe gelagert werden sollen, bestehen bereits Studien, die aufgrund der vorhandenen Kenntnisse des geologischen Untergrundes durchgeführt wurden. Diesbezügliche tiefe Sondierbohrungen sind vorgesehen.

Es ist nicht die Methode der Einlagerungen, die noch nicht bekannt wäre, sondern viel eher der Ort und die Tiefe, wo in der Schweiz die Einlagerung vorbereitet werden soll. Vorerst sollen einige tiefe Sondierbohrungen als Vorphase durchgeführt werden; aufgrund der Resultate solcher Sondier-

bohrungen wird man dann in einer zweiten Phase eine Evaluation zwischen verschiedenen Lokalitäten treffen müssen; eine solche ist frühestens in einigen Jahren zu erwarten.

*Pützer:* (Zu einem Votum betreffend den Bericht des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft "Radioaktive Abfälle aus der Kernenergiegewinnung"):  
Der Risikoindex des hochaktiven Abfalls im Vergleich zu uranhaltigem Gestein einer typischen Uranmine von Seite 7 bezieht sich auf den Bericht: W.D. Bond et al., Nuclear Technology 24, 362 (1974), während der von den Deutschen zitierte Vergleich sich auf eine anders definierte Vergleichsgröße bezieht. Die von den Deutschen zitierte Arbeit von H.O. Haug ist in den Proceedings des Symposiums on the Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle der IAEA vom März 1976 unter der Nummer IAEA-SM-207/51 zu finden.

Die in demselben Zusammenhang gestellte Frage zur Abtrennung der Aktiniden bezieht sich auf Seite 8 des Berichtes des EAEW, und weist darauf hin, dass in diesem Bericht die Abtrennung nicht gefordert wird. Nach unserem Wissen gibt die Formulierung im Bericht, wenn man die Kürze des Abschnittes betrachtet, die Situation für die industrielle Abtrennung und Recyclierung aller Aktiniden richtig wieder; – es existieren z.B. auch Studien, die zeigen, dass eine Separation der Aktiniden auch vom Gesichtspunkt des Risikos nicht notwendig ist.

*K. Kreuzer:* In der Schweiz hat das Eidg. Amt für Energiewirtschaft, unter dem Namen NAGRA, dem Eidg. Amt für Energiewirtschaft Sondiergesuche gestellt, und es wird sie selber genehmigen.

*H. Siegrist:* Das Amt für Energiewirtschaft ist nicht Bestandteil der NAGRA. Es hat sich daraus zurückgezogen. Heute ist der Bund in der NAGRA durch das Eidg. Gesundheitsamt vertreten, weil dieses für die radioaktiven Abfälle auch der Industriebetriebe zuständig ist.

*K. Kreuzer:* Neben anderen haben auch Sie, Herr Hunzinger, darüber berichtet, wie ungeheuer gross die Aufnahmefähigkeit der Ozeane für radioaktive Abfälle ist<sup>1</sup>, so gross, dass man ohne weiteres sämtliche Abfälle der Nuklearindustrie in die Ozeane werfen könnte. Soll damit vorgezeichnet werden, dass für den Fall, dass sich die Endlager in Salz- und anderen Formationen doch als ungeeignet herausstellen, die Abfälle schliesslich ins Meer versenkt werden?

*W. Hunzinger:* Ich habe nie empfohlen, die Abfälle ins Meer zu versenken, das ist eine Unterstellung.

<sup>1</sup>) W. Hunzinger, "Sicherheitsaspekte der Meerversenkung radioaktiver Abfälle", Beilage Bulletin Nr. 14, August 1974, SVA)

## **6. L. Hauber (Riehen): Die Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzvorkommen. Eine kritische Würdigung in geologischer Sicht.**

Um die Möglichkeiten der Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzvorkommen kritisch beurteilen zu können, müssen wir uns grundsätzlich über den geologischen "Werdegang oder Lebenslauf" einer Salzlagerstätte Rechenschaft geben. Darin sind die Entstehung und die Genese eines Salzlagers einzubeziehen, ferner die Kenntnis all jener Faktoren, welche auf ein Salzlager im Laufe der geologischen Zeiten einwirken können, seien sie endogener oder exogener Art, und schliesslich alle Varianten der Einflussnahme, die sich aus der menschlichen Aktivität ergeben. In den Katalog dieser Gegebenheiten ist die Lagerung radioaktiver Stoffe oder Abfälle einzupassen.

Aus dem Bereich des Salzbergbaues und der Salzauslaugung sowie der Untertageesspeicherung von Kohlenwasserstoffen in Salzvorkommen liegen heute vielfältige Erfahrungen im geotechnischen Umgang mit Salz vor. Diese Daten können für Projekte der Lagerung radioaktiver Abfälle beigezogen werden. Anders aber liegt die Problematik im Bereich des Langzeitverhaltens: Hier aber kann das Studium der Geschichte fossiler Salzlager in Raum und Zeit wertvolle Hinweise geben.

Schliesslich ist auch das Verhalten des Menschen solchen Objekten und den natürlichen Ressourcen gegenüber in die Betrachtung einzubeziehen. Hierin könnte möglicherweise die grösste Unbekannte liegen.