

Zeitschrift: 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

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 156 (1976)

Teilband: Partie scientifique

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: 12.01.2026

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

Da für die wissenschaftlichen Verhandlungen eine Neukonzeption ins Auge gefasst wurde, sind für den vorliegenden Band neue Publikationsrichtlinien angewandt und im Programm der Jahresversammlung 1976 bekanntgegeben worden. Danach sollen in der Regel nicht mehr alle an der Jahresversammlung vorgelegten Arbeiten publiziert werden, sondern nur die Hauptvorträge und die Beiträge zu den Symposien.

La SHSN a décidé une nouvelle conception pour les Actes scientifiques. Ainsi les nouvelles directives publiées dans le programme pour l'assemblée annuelle 1976 ont été appliquées. En règle générale seulement les conférences générales et les contributions dans le cadre de symposia ont été admises.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Geschenke und Tauschsendungen
für die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
sind zu adressieren:

**An die Bibliothek der
Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
Stadt- und Universitätsbibliothek Bern
(Schweiz)**

Les dons et échanges
destinés à la Société helvétique des sciences naturelles
doivent être adressés:

**A la Bibliothèque de la
Société helvétique des sciences naturelles
Bibliothèque de la ville de Berne
(Suisse)**

Doni e cambi
destinati alla Società elvetica di scienze naturali
vanno indirizzati:

**Alla Biblioteca della
Società elvetica di scienze naturali
Biblioteca municipale di Berna
(Svizzera)**

ETH ZÜRICH	
GEOBOTANISCHES INSTITUT	
STIFTUNG RÜBEL	
Lauf Nr.	A 17
Standort	

Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

WISSENSCHAFTLICHER TEIL
An der Jahresversammlung gehaltene Vorträge

Actes de la Société helvétique des sciences naturelles

PARTIE SCIENTIFIQUE
Communications présentées à l'Assemblée générale annuelle

Atti della Società elvetica di scienze naturali

PARTE SCIENTIFICA
Comunicazioni presentate all'Assemblea generale annuale

Gegründet / Fondée en / Fondata nel 1815

156. Jahresversammlung in Genf 1976
156^e Assemblée annuelle à Genève 1976
156^a Assemblea annuale a Ginevra 1976

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel

Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Wissenschaftlicher Teil

156. Jahresversammlung
vom 7.–10. Oktober 1976
in Genf

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel
(Für Mitglieder beim Generalsekretariat,
Laupenstrasse 10, 3001 Bern)

Actes de la Société helvétique des sciences naturelles

Partie scientifique

156^e Assemblée annuelle
du 7 au 10 octobre 1976
à Genève

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Bâle
(Les membres s'adresseront au Secrétariat général,
10, Laupenstrasse, 3001 Berne)

Inhaltsverzeichnis / Table des matières

A. Hauptvorträge

1. Jacques Miège (Genève): Aperçus modernes sur la systématique végétale 9
2. Henri Andriolat (Montpellier): De l'univers cosmique au mystère des trous noirs 27

B. Symposia

1. Schweizerische Gesellschaft für Automatik:
Croissance et dégradation des grands systèmes socio-économiques
M. Cuénod (Genève): Compte rendu 37
2. Schweizerische Gesellschaft für Vererbungsforschung:
Genetic Engineering
H. Gloor (Genève): Compte rendu 44
 1. B. Mach (Genève): Genetic Engineering at the Molecular Level. 45
 2. N.R. Ringertz (Stockholm): Possibilities of Cell biology for Genetic Engineering. 49
3. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung:
3. SAGUF-Symposium, 18. September 1976 in Bern: Probleme der Deponie radioaktiver Spaltprodukte
H. Mislin (Carona/Lugano): Einleitung 60
 1. R.P. Randl (Bonn): Die Entsorgung von Kernkraftwerken – Probleme und Lösungen 60
 2. J. Pradel et M. Macqueron (Fontenay-aux-Roses): Le problème des stockages de déchets radioactifs et les solutions françaises . 68

3. W. Hunzinger (Bern): Spezifikation der Spaltprodukte bei ihrer Beseitigung 74
4. K. Kühn (Clausthal-Zellerfeld): Die Versuchslagerung radioaktiven Abfalls im Salzbergwerk Asse 76
5. H. Jäckli (Zürich): Das Konzept für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen in der Schweiz . . 77
6. L. Hauber (Riehen): Die Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzvorkommen – eine kritische Würdigung in geologischer Sicht. . 86

C. Fachvorträge
Geophysik

1. M. Bouët (Le Mont): Sur la progression de l'air froid du Jura aux Alpes 87
2. W. Good und E.J. Langham (Weissfluhjoch-Davos / Ottawa): Erkennung und Parametrisierung geometrischer Strukturen von ERTS/LANDSAT-Bildern 88
3. W. Kuhn und J. Quiby (Zürich): Dynamischer Beitrag zur Niederschlagsprognose in der Schweiz 102
4. K. Lenggenhager (Bern): Ueber Eiszapfenbildungen 104
5. H. Richner und W. Nater (Zürich): Vergleich gemessener und berechneter Charakteristiken von internen Schwerewellen in der unteren Atmosphäre 108
6. B. Primault et G. Hirschi (Zurich): Quelques aspects particuliers des atmosphériques 113

D. Nekrologe

Jean-Aimé Baumann	Faculté de Médecine, Université de Genève	116
Hans Fischer.	Erwin H. Ackerknecht	117
Ernst Furrer	Arthur Uehlinger.	119
Ernst Hadorn	Pierre Tardent.	120
Jean Lugeon.	Jean Rieker	122
Pierre Mercier	Eric Bosset.	124
Walter Mörikofer.	Max Schüepp	125
Siegfried Rosin	Pierre Tschumi	127
Leopold Ruzicka.	W. Keller-Schierlein	130
Walter R. Schalch	G.A. Wanner.	130
Hans Schmid	Otto Isler.	131
Heinrich Uttinger	Walter Kuhn.	133
Jürg Wartenweiler	ETH-Bulletin	135
Max Weber.	ETH-Bulletin	135
Pater Kanisius Zünd	Alois Bettschart	136

A. Hauptvorträge / Conférences générales

1. Aperçus modernes sur la systématique végétale

Jacques Miège (Université de Genève; directeur des Conservatoire et jardin botaniques, Genève)

La Société helvétique des sciences naturelles en la personne de Monsieur le Professeur Bouvier m'a fait l'honneur de me demander de prononcer devant vous cette conférence. Tâche périlleuse que celle d'affronter tant de compétences; mais notre éminent collègue a mis une si amicale insistance à sa demande que j'ai accepté. Le thème se posait. Nous sommes tombés d'accord sur le sujet qui vous est proposé: Aperçus modernes sur la taxonomie végétale. Sujet qui, à la réflexion, me paraît bien présomptueux car très vaste, trop vaste. En effet, je ne pourrai vous en donner, et je vous prie de m'en excuser, qu'une vision incomplète.

Tout d'abord: qu'est-ce que la taxonomie végétale? C'est la branche de la botanique qui étudie les lois naturelles de classification des végétaux. Elle est épistémologique étant une réflexion sur ses principes, ses méthodes et ses démarches. Le terme de systématique, quant à lui, est plutôt réservé à l'étude de systèmes de classification. Mais, souvent, les deux appellations sont confondues.

La systématique est, de nos jours, souvent décriée. Certains n'y voient qu'une science figée. Galston, dans un article récent (1974), ne parle-t-il pas du "conservatisme traditionnel des botanistes!" Cette boutade impliquerait que la botanique est une science statique, immobile. Cette vue pessimiste doit pourtant être nuancée. La taxonomie est constamment sollicitée à se remettre en cause, donc à progresser. Elle élargit ses horizons, diversifie ses buts, emprunte à d'autres disciplines de nouveaux moyens d'investigation. Elle pratique, tour à tour, l'analyse et la synthèse. Enfin, elle est protégée de la sclérose parce qu'elle puise sa raison d'être dans les relations vitales de l'homme avec son environnement. Si elle s'enlisait dans la tentation de se prendre pour une fin en soi, elle serait vite rappelée à l'ordre par ses utilisateurs: phytosociologues, écologistes, agronomes, forestiers, agrostologues, nutritionnistes, pharmaciens.

La systématique est née de la nécessité de recenser, de faire l'inventaire du monde végétal. Les caractères utilisés dans ses débuts pour décrire les plantes, les reconnaître et les déterminer étaient peu nombreux et essentiellement morphologiques. Ils se sont, depuis Pitton de Tournefort, extrêmement diversifiés.

Mais il ne suffit pas de reconnaître les plantes et d'établir des diagnoses, il faut aussi les dénommer. Un chapitre de la systématique s'attache à ce problème; des règles nomenclaturales sont fixées. Depuis Linné et Lindley, elles s'affinent, se précisent. Un *Code international de nomenclature* a été établi. Ce côté de la botanique peut paraître relever plus du notariat que de la science. Il n'en est pas moins indispensable car il faut s'entendre sur ce dont on parle. Genève s'est illustrée dans l'établissement de ces lois nomenclaturales avec, entre autres, les apports d'Alphonse de Candolle qui, rappelons-le était docteur en droit, de John Briquet, de B.P.G. Hochreutiner, de Charles Baehni, de Ch. Bonner.

Si la nomenclature revêt ce côté juridique nécessaire, le fait qu'ici, ce qui est codifié est vivant, devrait donner du cœur à cette spécialité. N'oublions-nous pas trop que l'acte de "*nommer*" est revêtu d'une importance sacrée dans les religions. Nommer, c'est prendre possession, mais possession par l'amour. Si les botanistes savaient mieux aimer les plantes qu'ils nomment, ils devraient communiquer leur enthousiasme et tout le monde voudrait devenir systématicien. Ce serait peut-être gênant! Alors, pardonnez-nous d'être parfois ennuyeux.

Donc, il fallait inventorier le monde végétal. Linné marque le point de départ, le temps zéro de la systématique moderne. Il décrit environ 6'000 plantes dans son *Species Plantarum* paru en 1753. Bien vite, ce nombre s'accrut; le Prodrôme de Candolle traite de 58'975 espèces de végétaux supérieurs. Aujourd'hui, on estime à 550'000 le nombre d'espèces végétales dont 300'000 environ appartiennent aux Angiospermes.

Mais, le recensement n'est pas achevé. Les tropiques sont incomplètement prospectés. Même en Europe, des découvertes sont encore possibles. Témoin, le nouveau genre d'Ombellifères "*Naufraga*" (*N. balearica*) déniché dans les crevasses des falaises maritimes de Majorque. Les nouvelles candidates européennes sont souvent des plantes introduites ou sont encore issues de mutations ou d'hybridations. Tel le *Spartina anglica* qui peuple les lagunes atlantiques. C'est un amphiploïde à $2n = 124$ chromosomes devenu fertile après doublement des chromosomes du *S. townsendii*, enfant stérile d'un *Spartina* européen (*S. maritima*) et d'un *Spartina* américain (*S. alterniflora*) introduit incidemment au début du siècle dernier sur les rivages océaniques de France. Le nouvel hybride, doué d'une belle hétérosie, supprime désormais ses parents dont les aires s'amenuisent. Cet exemple souligne le dynamisme du règne végétal dont l'évolution se poursuit.

Ces processus de spéciation rendent difficile un accord sur la définition de l'unité de base que représente l'espèce.

Pour certains, à la suite de Ray et de Linné, le monde vivant se résume à un nombre déterminé de types. Les variations constatées, imperfections sans intérêt, seraient des manifestations ratées de l'espèce. Cette notion de type demeure encore une des bases de la systématique puisqu'une espèce n'est valide que dans la mesure où un exemplaire, dit de référence, est déposé dans un herbier.

Au concept typologique, lié au caractère de fixité de l'espèce, on peut préférer un statut découlant de la similitude morphologique de ses composants. Un caractère de subjectivité reste inévitable et divise les spécialistes sur les délimitations de certaines espèces, ce qui conduit quelques-uns à des positions extrêmes, l'espèce ne correspondant plus à rien de réel; elle serait

une abstraction, seuls existeraient les individus. C'était l'idée de Lamarck comme de Darwin. Celui-ci ne disait-il pas: "Je considère l'espèce comme arbitrairement donnée, par pure commodité, à un ensemble d'individus se ressemblant beaucoup entre eux". Bessey voulait dire la même chose en écrivant: "la nature produit des individus et rien de plus. Les espèces n'ont pas d'existence. Ce sont des concepts mentaux. Elles ont été inventées pour pouvoir se référer collectivement à de grands nombres d'individus". Mayr s'élève contre cette vue et juge médiéval ce concept nominaliste.

Les biosystématiciens lui préfèrent la notion d'espèce biologique basée sur la mixibilité des génomes. Stebbins exprime ainsi cette notion: "Les espèces consistent en systèmes de populations séparées les unes des autres par des discontinuités. Ces discontinuités doivent avoir une base génétique et refléter l'existence de mécanismes isolateurs qui empêchent le transfert de gènes d'un système de populations à un autre". C'est donc la présence de hiatus et leur importance qui servent à définir les unités taxonomiques.

Finalement, pour résoudre le paradoxe entre la fixité de l'espèce des naturalistes et la fluidité prônée par les évolutionnistes, des botanistes préfèrent utiliser le suffixe *dème* pour désigner les formes micro-évolutives des espèces biologiques (hologamodèmes); de ce suffixe dérivent les termes écodèmes, cytodèmes, etc. suivant le facteur principal qui intervient dans leur différenciation.

L'unité de base enfin choisie, il devient possible d'élaborer une matrice de rangement avec les divers niveaux hiérarchiques rayonnant depuis cette unité: variétés et formes en deçà, genres, tribus, familles, ordres, classes, embranchements au-delà. Nous pouvons alors commencer à mettre de l'ordre dans cette multitude d'êtres si admirablement divers. Prenons une idée de cette diversité rien qu'avec les plantes supérieures.

Elles semblent être entrées en scène brusquement, au début du crétacé, voici 130 à 140 millions d'années. Auparavant, grâce à l'apparition de la lignine, le monde végétal sortit du milieu marin. Mais la graine vint et avec elle la vocation colonisatrice des végétaux supérieurs. Leurs possibilités d'adaptation aux innombrables biotopes terrestres se traduit par leur remarquable diversification.

C'est sous les tropiques (crétacés), dans un milieu débordant d'humidité et de chaleur, que cette prodigieuse explosion végétale va d'abord se manifester. De là, les flores angiospermiennes migrèrent vers le nord se substituant peu à peu aux flores jurassiennes. A l'éocène, elles avaient envahi tout le globe s'adaptant aux conditions écologiques les plus surprenantes. Ces flores étaient alors sensiblement identiques à celles que nous connaissons aujourd'hui.

Rappelant le milieu marin de leur origine, *Cymodocea* et déjà à un moindre titre *Rhizophora* et *Avicennia* y restent fidèles. D'autres se contentent d'eaux douces (*Pistia stratiotes*, *Nymphaea*). Mais la majorité se trouve mieux sur la terre ferme, encore que certaines font semblant de s'en arracher pour vivre de l'air du temps (*Tillandsia usneoides*).

La flore tropicale reste, bien sûr, la plus riche. Mais beaucoup de plantes se sont admirablement adaptées aux déserts les plus arides. D'autres ont appris à s'accommoder du sel, du gypse, du calcaire. Quelques-unes supportent et même digèrent en les solubilisant divers métaux: plantes cuprifères, cobaltifères qui signalent aux géologues les gîtes métallifères superficiels.

Mais celles qui seront les plus chères à nos cœurs ce sont celles que les rigueurs des altitudes n'ont pas rebutées. Elles ont gagné sur nos montagnes des coloris inimitables.

L'adaptation des phanérogames à des habitats aussi variés est liée à des particularités physiologiques et morphologiques infiniment diverses. Ainsi, la lentille d'eau ne mesure que quelques millimètres alors que les géants: *Eucalyptus regnans*, *Ceiba pentandra*, *Entandrophragma utile* (sipo), dépassent 60 à 70 mètres et atteignent même 100 m.

Certaines plantes auront des fleurs très grandes, solitaires aux pièces insérées en spirale (*Nelumbo nucifera*, *Magnolia soulangeana*) tandis que d'autres ne forment que des fleurs minuscules, verticillées, parfois incomplètes et unisexuées (*Peperomia*, *Arum maculatum*). Ces fleurs peuvent être groupées en inflorescences d'une extrême variété.

La fréquence d'apparition de ces fleurs va être une autre source de diversité. Certaines espèces vont être prodigues au point de fleurir plusieurs fois par an alors que d'autres comme le *Corypha umbraculifera* ne se décideront à le faire que vers 70 ans; ce palmier ne rééditera pas son exploit et mourra après avoir produit plusieurs millions de fleurs. Les *agaves* appartiennent aussi à ce groupe de végétaux hapaxanthes encore appelés monocarpiques.

Les durées de gestation du fruit varient. Elles sont longues, 9 à 10 mois chez le cocotier et 6 ans chez le *Lodoicea maldivica*; il faut dire que le bébé, une graine albuminée, pèse une quinzaine de kilos. Quel contraste avec les orchidées qui vont engendrer une poussière de graines exalbuminées aux embryons indifférenciés ce qui leur vaut de devoir recourir à des champignons symbiotiques pour germer. Cette petitesse des graines vaut aux *Cattleya* de contenir 3 à 5 millions de semences par capsule. Curieuses orchidées qui pour assurer leur fécondation leurrent, grâce à tout un système de stimulus, les insectes pollinisateurs.

Un autre caractère va accentuer cette étonnante diversité, c'est la longévité: les plantes d'acheb par exemple (*Borrhavia repens*, *Mollugo cerviana*) effectuent leur cycle complet en 2 à 3 semaines à peine mais l'if (*Taxus baccata*), les chênes (*Quercus spp*) feront d'allègres centenaires qui seront encore bien jeunes comparés aux *Sequoia* millénaires.

Ainsi donc, cette masse extrêmement diverse d'organismes va devoir être ordonnée. Cette mise en ordre cherchera à répondre aux questions suivantes: comment ont pris naissance toutes ces formes? Quelles sont leurs affinités? Comment dérivent-elles les unes des autres?

Mais de nombreux écueils viennent compliquer la recherche des réponses. En voici quelques-uns:

I. Tout d'abord, les phénomènes de convergence parfois bien difficiles à déjouer. L'exemple classique est celui des plantes crassulescentes. Les ressemblances entre Cactacées américaines, Euphorbiacées africaines, Didiéracées malgaches peuvent être surprenantes. Le cas des plantes bouteilles est également à évoquer. *Adansonia* malgaches (Bombacacées), *Moringa drouardi* (Moringacées), *Pachypodium rosulatum* (Apocynacées) bien qu'appartenant à des familles différentes offrent de tels curieux développements. Dans d'autres cas, ce seront les organes reproducteurs, qui vont manifester des convergences. C'est ainsi que les mêmes attributs ailés ou plumeux dits anémochores vont se rencontrer sur les fruits, de même que sur des graines: par

exemple, les aigrettes des graines d'Apocynacées ou d'Asclepiadacées et des akènes de Composées; ou encore, les ailes des samares du frêne et des graines de *Dioscorea bulbifera*. Quant aux fleurs, la plupart des botanistes les considèrent plus comme une entité biologique que comme une réalité morphologique. En raison de transferts de fonctions, des inflorescences les miment. Si bien, qu'à côté des *euanthes* (les vraies fleurs), il existe des *pseudanthès*. Tels sont les cymes des *Mussaenda*, les cyathums des Euphorbiacées, les capitules des Composées. A la suite de contractions, de cyclisations, de réductions, de spécialisations florales, les inflorescences peuvent n'être plus composées que d'un nombre restreint (parfois 5) de fleurs, si restreint que ces inflorescences ressemblent étonnamment à des euanthes. Séries évolutives imprévues. II. Un autre écueil est le difficile partage entre les variations relevant des facteurs génétiques: les écotypes, et les modifications passagères: les fluctuations ou accomodats. Par exemple, une même plante peut présenter des feuilles laciniées en milieu immergé mais peu découpées sinon entières lorsqu'elle est cultivée sur des terrains frais mais non inondés. De même pour le lierre, chacun a pu observer la différence de forme entre feuilles de rameaux végétatifs et feuilles de rameaux florifères.

Inversement, de véritables différences génétiques seront masquées. Il existe par exemple deux races de primevères, des écotypes, qui portent, tous les autres caractères étant identiques, des fleurs blanches à température ordinaire mais des fleurs blanches et rouges à température supérieure à 25°. *Linum catharticum* présente des écotypes adaptés les uns à des milieux secs comme les bords de chemin, les autres à des stations humides (marais de Divonne).

Nous allons maintenant voir où nous en sommes aujourd'hui, de cette mise en ordre d'un monde végétal encore si merveilleusement riche bien qu'en danger. Le moyen de cette mise en ordre est l'utilisation de caractères. Mais si les caractères morphologiques étaient peu nombreux et les seuls employés voici moins de 100 ans, c'est par milliers qu'ils se présentent de nos jours et de toutes provenances. A l'observation visuelle aidée de la loupe, le botaniste ajoute maintenant comme moyens d'investigation les dernières ressources technologiques. Trois vigoureuses tendances se sont manifestées ces dernières décennies: la biosystématique, l'utilisation du microscope électronique à balayage et la biochimie, sans compter l'emploi de l'ordinateur qui permet d'intégrer la masse des données recueillies et qui n'a pénétré que récemment en taxonomie.

Précisons cependant que les caractères morphologiques restent fondamentaux et le resteront à cause de l'irremplaçable simplicité de leur utilisation. Mais l'apport des caractères de laboratoire, caractères objectifs, va enfin permettre de passer au filtre d'une critique rationnelle les caractères de terrain. Ils vont en sortir épurés de leur trop grande subjectivité ce qui leur conférera un pouvoir discriminant plus puissant et plus sûr.

Considérons d'un peu plus près l'apport d'une partie de ces caractères nouveaux. Et pour commencer, restons dans la ligne des caractères morphologiques avec simplement cette pénétration dans l'extrême finesse du détail que permet le microscope à balayage.

Microscope à balayage

(en anglais "scanning"). Grâce à son pouvoir séparateur et à sa grande profondeur de champ, les surfaces balayées vont prendre un relief saisissant.

Pollens. L'étude des épidermes et surtout celle des pollens, par exemple, ont pris un essor fulgurant. La palynologie est devenue une spécialisation. La forme, les dimensions, l'ornementation des grains, le nombre, la position, la taille et la structure des apertures, c'est-à-dire les ouvertures ou les amincissements du sporoderme, la sculpture et la stratification de l'exine, autant de particularités dont les variations et les combinaisons sont infiniment variées. Cependant, la nature semble orienter ses réalisations sans exploiter toutes les combinaisons possibles. Ces caractères spécifiques permettent de résoudre de nombreux problèmes taxonomiques. Par exemple, le type monocotylédoïde de certaines familles de Dicotylédones rend bancal la situation phylogénétique qui leur est conférée dans certains schémas. L'étude des pollens contribue à clarifier ces situations. En gros, leur morphologie se trouve en accord avec les nouveaux systèmes phylogéniques de Takhtajan et de Cronquist.

Un autre avantage des pollens est la présence de sporopollenine, substance très résistante qui a permis leur conservation à l'état de fossiles. Par des observations stratigraphiques minutieuses, l'histoire, la genèse et la distribution des flores ont été reconstituées. L'analyse des tourbes permet de suivre l'évolution de la végétation au quaternaire en relation soit avec les glaciations, dans nos régions, soit avec les périodes pluviales et interpluviales en Afrique tropicale.

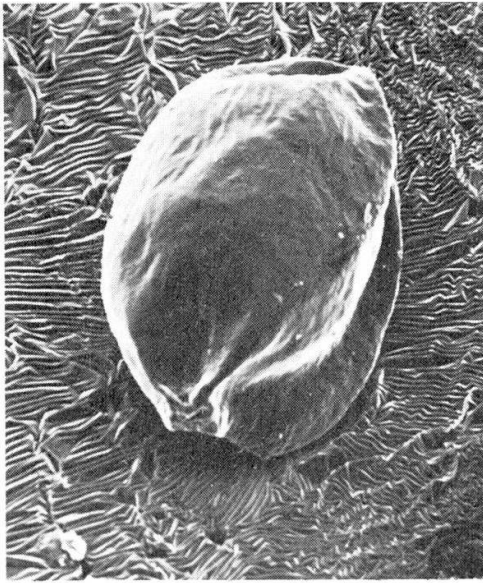
Signalons une application de la palynologie dans le domaine médical. Elle permet de démasquer les espèces dont les pollens sont auteurs d'allergie sur personnes sensibles. Enfin, qui songerait que des apiculteurs, à qui il prendrait envie de jongler avec les étiquettes d'appellation, pourraient fort bien être dénoncés, par les pollens, à des agents zélés de la répression des fraudes?

Graines. Mais les pollens ne sont pas les seuls organes intéressant les microscopistes. Les graines fournissent depuis longtemps un beau lot de caractères morphologiques de valeur. Mais il n'est pas rare que des taxons proches bien que distincts offrent des graines apparemment identiques. C'est alors que les différences dans les détails de l'ornementation des téguments révélés en microscopie à balayage arrivent à point nommé pour démêler des situations difficiles, par exemple pour identifier des semences d'origine douteuse. Cet avantage nous est précieux au jardin botanique. Dans le cadre des échanges de graines, nous expédions plus de 15'000 sachets (16'000 en 1975) dans le monde entier, chaque année. Or, l'identification des graines de petites dimensions est parfois délicate. Nous avons alors cherché quel parti tirer de cette technique. Voici le cas des gentianes, genre qui, en Suisse, compte une trentaine d'espèces. Nous en avons observé 18. Les caractères que nous avons relevés justifient bien le découpage nouvellement proposé en genres et sections. Nous trouvons cependant qu'à l'intérieur du genre *Gentianella*, une espèce (*G. ciliata*) se distingue.

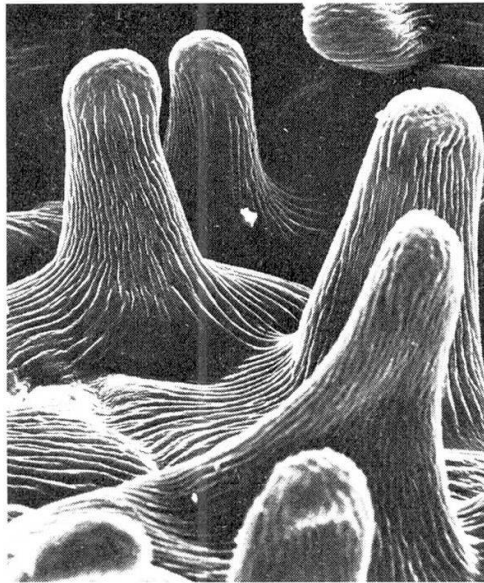
Nous avons également étudié une quarantaine d'espèces de Saxifrages et avons pu les répartir en 4 groupes: une espèce à graine complètement lisse, *S. muscoïdea*, un groupe à graines portant des extrusions assez grandes

plus ou moins en forme de colonnettes (ex. *S. aizoides*), un autre à graines ornementées d'alvéoles (ex. *S. biflora*), d'oolithes (ex. *S. exarata*), de petits domes (ex. *S. rotundifolia*). Enfin, un groupe à graines offrant un double type d'ornementations qui combine celles que nous avons énoncées (ex. *S. stellaris*).

Maintenant quittons la morphologie des microapparences pour pénétrer dans le causal des formes, les constituants biochimiques de l'organisme.



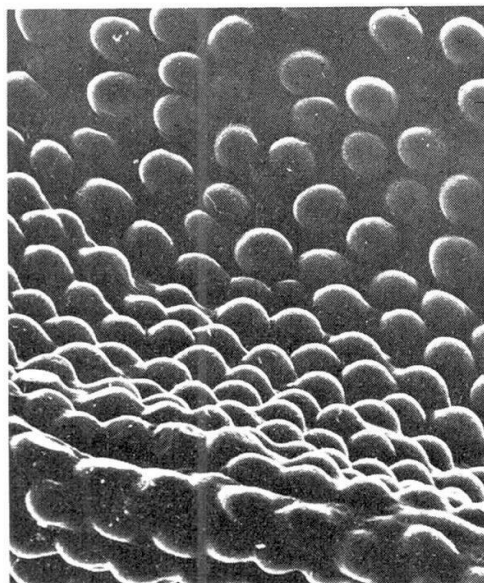
Saxifraga muscoidea



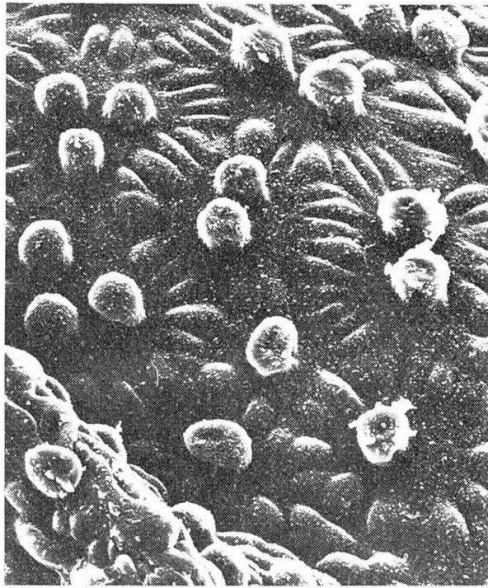
Saxifraga aizoides (x 800)



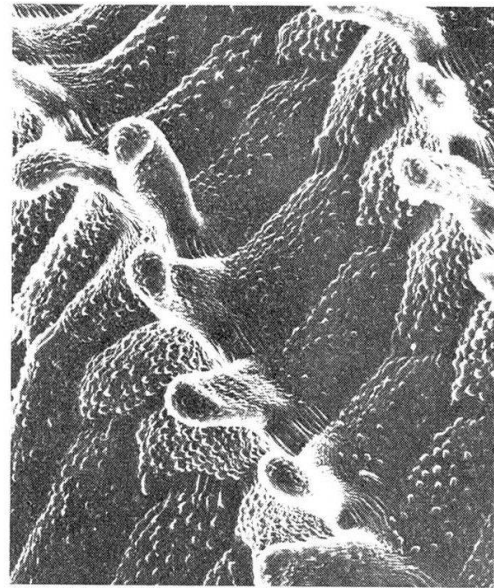
Saxifraga biflora (x 600)



Saxifraga exarata (x 600)



Saxifraga rotundifolia (x 600)



Saxifraga stellaris (x 500)

Biochimie

Déjà A.P. de Candolle (1804) percevait l'intérêt des caractères chimiques pour la classification. Il a fallu cependant attendre les dernières décennies pour qu'ils soient vraiment pris en considération; ils firent alors une brusque intrusion grâce, en particulier, à la généralisation de techniques telles que la chromatographie et l'électrophorèse. Une grande quantité de substances ont été analysées. La littérature abonde de références.

Certains auteurs, toutefois, ne veulent voir dans les caractères chimiques qu'une catégorie supplémentaire de données d'une utilité peu évidente. Heywood va plus loin. Il conteste ces données sous prétexte que les botanistes croulent sous le poids de l'accumulation des résultats. Mais il y a plus grave, il suspecte leur validité. C'est que le mariage est difficile entre la biochimie, science précise et la systématique, discipline qui tient autant de l'art que de la science. Les soupçons d'Heywood sont alimentés par le fait, dit-il, que des chimistes ont signalé des constituants différents dans une même espèce, abusés qu'ils étaient par les dénominations différentes qui la désignaient, autrement dit par le piège des synonymies. Cette critique est grave car elle laisse entendre que les chimistes trouvent ce qu'ils veulent trouver et que, leur tare étant de n'être pas systématiciens, ils appliquent à des espèces mal caractérisées des résultats douteux, influencés par un pré-supposé. Ce procès mériterait d'être mieux instruit. Car, en somme, cela ne reviendrait-il pas à dire si on voyait un apprenti massacrer une œuvre d'art avec un outil mal choisi: ce burin ne vaut rien, je le jette au panier; l'homme avisé apprendrait d'abord à se servir du burin. Or, l'outil biochimique a une valeur théorique, c'est indéniable. Il n'est que d'apprendre à s'en servir, car

la contribution de la biochimie paraît essentielle pour ajuster cette cote mal taillée qu'est la définition des êtres sur la seule base de leur apparence externe, apparence parfois fluctuante ou trompeuse et dont l'appréciation est obligatoirement teintée de subjectivisme. D'ailleurs, un travail en équipe permet d'éviter ces difficultés et obstacles.

De plus, il est des situations devant lesquelles la morphologie est impuissante: la recherche de parents sauvages, par exemple, pour connaître l'origine de cultivars dans le but de les améliorer.

Mais quelles substances chimiques analyser?

Le choix est grand mais se réduit en fait à deux catégories de substances. Les petites molécules issues du métabolisme dit "secondaire" ou les substances issues du métabolisme dit "primaire" parce qu'il est la traduction première, littérale en quelque sorte, du génome; les protéines sont cette émanation primaire du génome. Elles occupent de ce fait une position unique en tant que reflet du génotype et support du phénotype. Par ailleurs, la courte voie métabolique qui les produit réduit les effets d'influences intermédiaires incontrôlables et de phénomènes de convergences fréquents avec les substances du métabolisme secondaire.

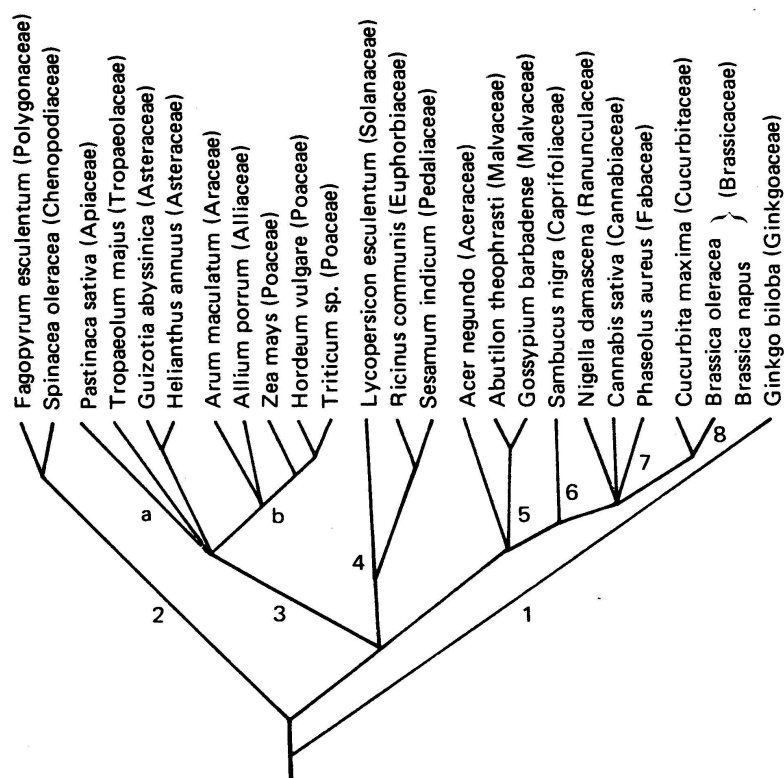
Pour celles-ci, les actions intermédiaires sur les longs enchaînements métaboliques, ou la convergence de voies métaboliques différentes pour produire un même produit, expliquent de nombreuses répartitions étonnantes: par exemple la présence de nicotine chez des plantes aussi éloignées que le tabac (Solanacées) et les prêles (Ptéridophytes), celle de la caféine dans des familles aussi peu apparentées que les Rubiacées, les Sterculiacées, les Théacées...

L'interprétation des caractères protéiques n'est cependant pas à l'abri des difficultés. Les difficultés, en fait, sont de deux ordres: signification, fidélité. Signification? La présence d'une protéine dont la fonction est fondamentale pour toute cellule vivante n'aura pas de signification par sa présence, ni même par les grandes lignes de sa structure, qui ne varieront guère, elle pourra en avoir par les faibles modifications dans l'enchaînement des aminoacides sur des portions de la molécule étrangère au site actif. C'est le cas bien classique des arbres généalogiques dressés grâce au cytochrome c, ou à la ferrédoxine. Nous présentons ici un tel arbre dû à Boulter et à son équipe.

Pour d'autres protéines moins générales, leur présence ou absence peut avoir une signification, ce peut être le cas des lectines ou phythemagglutinines qui agglutinent des cellules humaines spécifiques et ont un grand rôle en médecine.

Le parti le plus général qui est tiré de l'analyse des protéines est fourni, en fait, par la présence de protéines à fonction définie, (réserves, enzymes, etc.) complétée par des données sur la configuration structurale des molécules concernées décelées par les comportements chromatographique et électrophorétique; enfin les proportions de ces protéines fonctionnelles ne sont pas négligeables à connaître.

C'est alors qu'intervient l'importance de la fidélité des données indispensable à leur interprétation, fidélité qui peut être mise en échec par une mauvaise maîtrise technologique, ou par des interférences mal contrôlées d'origines physiologique ou ontogénique. Pour éliminer ces dernières causes,



Arbre phylogénétique établi suivant la méthode des séquences ancestrales d'après les séquences en acides aminés des cytochromes c de 25 espèces (d'après Boulter, 1974).

il faudrait disposer d'un matériel d'âge précis, apte au stockage et doué d'une grande inertie métabolique. Les graines remplissent idéalement ces conditions, grâce à l'état de siccité qu'elles acquièrent en fin de maturation. Toutefois, ces embryons en vie ralentie ne sont pas inertes, ils sont le siège de processus métaboliques; la preuve: les levées de dormances qui s'opèrent pendant le repos des graines, et à l'inverse, les pertes de leur faculté germinative qu'elles subissent à plus ou moins long terme. La durée de leur résistance est un caractère génétique de l'espèce; ainsi, limitée à quelques jours ou semaines chez le thé, le cacao, l'hévea, elle dure des siècles chez *Nelumbo nucifera*. Dans les limites de ce caractère génétique, les facteurs du milieu exerceront une influence sur tous les processus métaboliques et donc sur les protéines. Aux phénomènes de sénescence sont d'ailleurs liées des modifications géniques et chromosomiques (des délétions, des cassures de chromosomes par ex.). Le taux de mutation enregistré par Strubbe sur *Antirrhinum majus* dans des conditions moyennes de conservation, nul les premières années passe à 1,5% la 5ème année et à 14,04% la 10ème année.

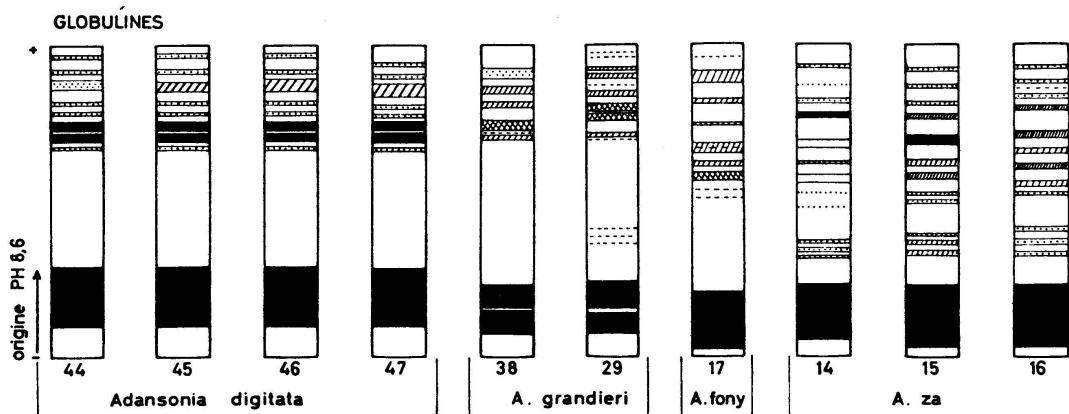
Notre service s'efforce depuis 5 ans de maîtriser et préciser les influences susceptibles d'altérer les caractères révélés des protéines des graines. La maîtrise la plus facile à acquérir, mais non la moins importante, était celle

des conditions de conservation. M. N. Miège a mis en évidence le retentissement du vieillissement de la farine sur la solubilité de ses globulines. A. Grange a soumis systématiquement des lots de graines à des conditions diverses, les conditions défavorables produisent des altérations au niveau des liaisons entre macromolécules: protéines-protéines, protéines-polysaccharides; certaines de ces altérations retentissent sur la solubilité des globulines. Les activités enzymatiques sont également touchées, mais alors que celles de type oxydo-réducteur sont sensibles, les hydrolases sont plus stables comme en témoignent ces zymogrammes. Des activités dépendant de molécules peptidiques de beaucoup plus faible poids moléculaire sont également résistantes comme l'a mis en évidence A. Spierer-Royer avec les inhibiteurs de trypsine. A. Grange a finalement montré que le stockage à 2°C permet un ralentissement des activités métaboliques tel que les caractères des protéines ne sont pas sensiblement altérés après plus de 3 ans en utilisant le haricot (*Phaseolus vulgaris* var. contender).

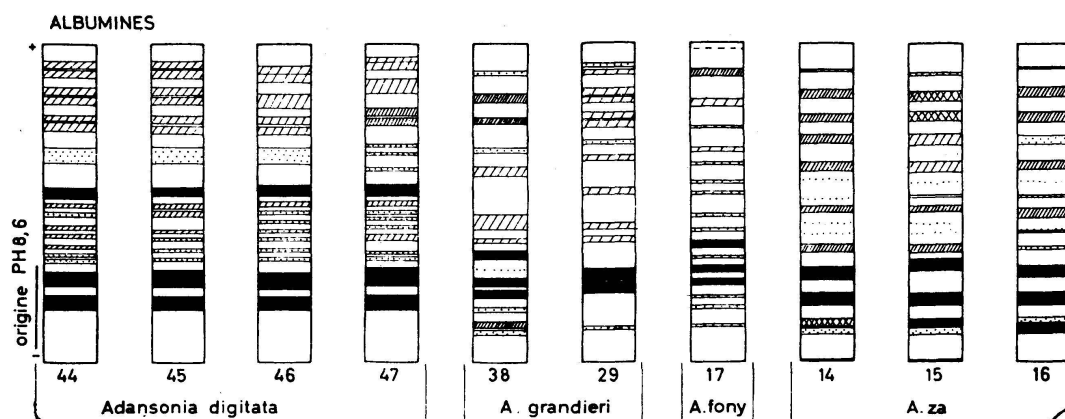
Reste l'influence des facteurs écologiques. J.M. Mascherpa a étudié chez le haricot, entre diverses actions, celles de plusieurs photopériodes. Alors que la richesse en azote total de la graine s'est révélée influençable, les proportions d'albumines et globulines restent stables, de même que les profils électrophorétiques.

Moi-même suis arrivé à des conclusions semblables en comparant les électrophorégrammes d'albumines et de globulines de divers *Adansonia* (baobabs de Madagascar et d'Afrique).

Des graines d'*A. digitata* provenant de plusieurs sites du Sénégal et de Côte d'Ivoire ont fourni des profils identiques alors que les diagrammes comparés entre espèces étaient caractéristiques de chacune d'elles. Les caractères fournis par l'analyse des albumines et des globulines paraissent donc être de bons caractères taxonomiques. Pour apprécier la valeur d'autres



Electrophorégramme des globulines de graines d'échantillons d'*Adansonia* appartenant à diverses espèces. Les bandes correspondant aux différentes fractions sont plus ou moins intensément colorées (en noir les plus intenses, en pointillé les plus faibles, en hachures diverses colorations intermédiaires) (d'après J. Miège).



Electrophorogramme des albumines de graines d'échantillons d'*Adansonia* appartenant à diverses espèces. Les bandes correspondant aux différentes fractions sont plus ou moins intensément colorées (en noir les plus intenses, en pointillé les plus faibles, en hachures diverses colorations intermédiaires) (d'après J. Miège).

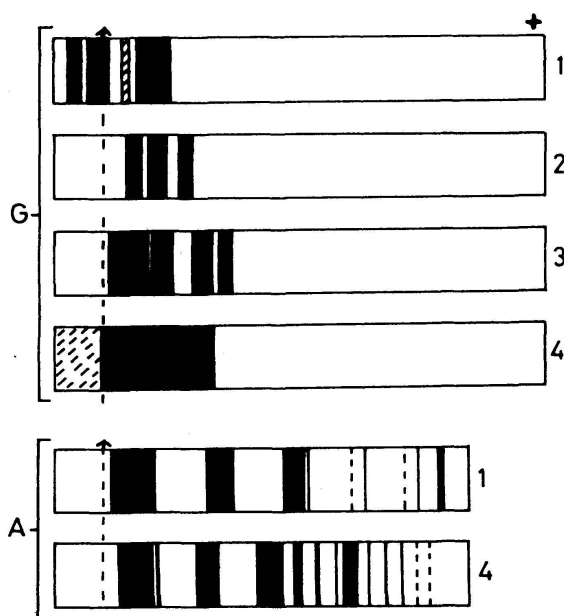
caractères moins classiques, une épreuve comparative est efficace. Ainsi pour tester la signification taxonomique des inhibiteurs de la trypsine étudiés par A. Spierer-Royer chez le *Vigna*, nous avons plaqué sur la classification à base morphologique établie par Maréchal, une hiérarchisation de 15 variétés appartenant à diverses espèces de *Vigna* établie seulement à l'aide de quelques caractères protéiques dont l'activité anti-trypsine. La coïncidence fut frappante.

Ainsi donc, la diversité des caractères protéiques utilisables s'accroît parallèlement à la connaissance de la biologie de la graine. Une utilisation judicieuse de ces candidats toujours plus nombreux implique un choix permettant de tester les caractères les mieux adaptés à chaque circonstance. S'agit-il de comparer des niveaux hiérarchiques élevés, tel caractère sera significatif, par exemple la présence d'une classe de protéines, les prolamines, peut discriminer des familles entières comme l'indique ce tableau comparant les compositions du *Lablab purpureus* et du *Zea mays*.

protéines	Légumineuse: Lablab niger (+)		Graminée Zea mays (°)	
	axe germinatif	cotylédons	germe	albumen
salinosolubles	79%	86%	48%	22%
alcalinosolubles	12	12.5	40	25
alcoolsolubles	3	0	10	50
non extractibles	6	1.5	2	3

(+) D'après M. N. Miège (1970).

(°) D'après R. Bressani et E.T. Mertz (1957-1958) modifié.



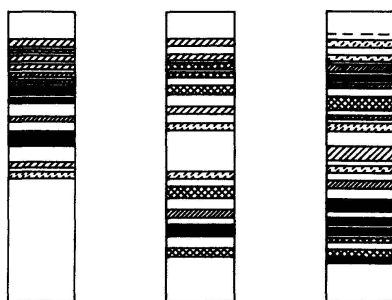
Diagrammes d'électrophorèses réalisées en gel de polyacrylamide et colorées par le noir amide de solutions albuminiques (A) et globuliniques (G) des espèces *D. cayensis* (1), *D. bulbifera* (2), *D. dumetorum* (3), *D. Preussii* (4) (d'après M.-N. Miège & J. Miège).

L'objectif est-il une comparaison interspécifique? Nous avons vu que les spectres classiquement utilisés des albumines et globulines sont très valables, nous l'avons vérifié en comparant des espèces de diverses sections du genre *Dioscorea* ou du genre *Adansonia* et de divers genres de Légumineuses.

Mais le fleuron de ce que l'on peut attendre de l'application à la taxonomie de l'étude des protéines, c'est sans conteste la recherche de parents insaisissables, et notamment celle de génomes qui ont participé à l'élaboration des polyploïdes. Un cas de ce type a été examiné par M.N. Miège avec la série polyploïde au sein de l'espèce *Leucanthemum vulgare*, cytologiquement prospectée par Favarger et Villard. L'originalité du diploïde suggérerait des interférences dans la formation de cette série.

Une équipe américaine a concentré tous ses efforts sur cette recherche de parenté en l'appliquant notamment au cas passionnant du blé dont l'histoire est liée très étroitement à celle de notre civilisation occidentale. Les parents sauvages de nos blés cultivés ont ainsi pu être identifiés grâce à des détours expérimentaux très astucieux, parmi lesquels des reconstitutions du résultat de mixages géniques. Voici, représentées à la page 22, les contributions de chaque génome aux diagrammes électrophorétiques fournis en gel de polyacrylamide d'extraits de caryopses des espèces de la série polyploïde.

2n = 14	<i>Triticum boeoticum</i>	
	<i>Triticum monococcum</i>	AA x <i>Aegilops speltoides</i> BB
2n = 38	<i>Triticum dicoccoides</i>	
	<i>Triticum dicoccum</i>	AABB x <i>Aegilops squarrosa</i> DD
	<i>Triticum durum</i>	



Schémas électrophorétiques simplifiés de *Triticum monococcum* (AA), *T. dicoccum* (AA BB), *T. aestivum* (AA BB DD) adaptés et établis d'après les résultats de Johnson & Hall, 1965.

$2n = 42$ *T. aestivum* (*T. vulgare*) AABBD

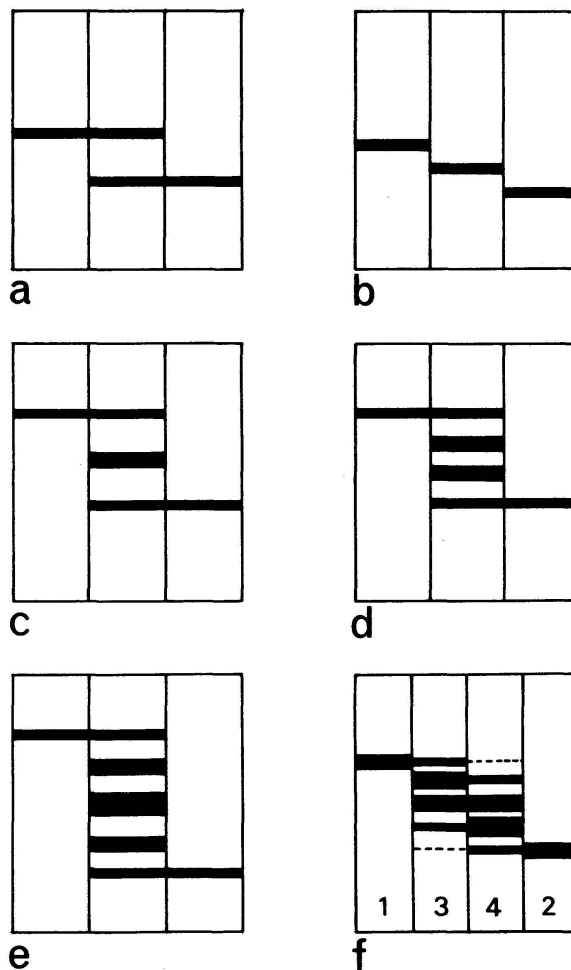
Ces travaux sur les blés mettent en relief l'apport irremplaçable de l'analyse protéique dans la recherche des migrations végétales. Les zymogrammes permettent aussi de préciser les affinités et parentés et de révéler des disjonctions alléliques. Les schémas de la page 23 mettent en relief les fractions qui sont trouvées chez les géniteurs et leurs hybrides en particulier chez le maïs.

Il est réconfortant de voir, en notre siècle qui nous enferme de gré ou de force dans des spécialisations nécessaires sans doute, mais parfois étouffantes, de voir des ponts ainsi jetés entre des spécialités aussi diverses que la biochimie, la botanique, la cytologie, la génétique, la géographie, l'histoire. L'homme, et le scientifique comme un autre, plus qu'un autre peut-être, aspire, après la pulvérisation nécessaire des méthodes analytiques, à une vision unitaire de ses démarches.

Or, en dehors de cette satisfaction de quelques ponts jetés, la difficulté grandit d'assimiler, dans une synthèse unitaire, la profusion toujours croissante des connaissances fournies par les analyses de plus en plus nombreuses, de plus en plus détaillées. Tout simplement, le cerveau ne peut plus faire cette synthèse. Dans le domaine de la systématique en tout cas, le nombre de données assimilables est largement dépassé. Cela justifie-t-il le refus de nouvelles données ? Verrait-on une discipline scientifique refuser l'accroissement de ses connaissances ? Non, bien sûr. Elle ne le pourrait que si l'inassimilation était le corollaire inévitable de l'accroissement des connaissances, c'est-à-dire si n'existait pas cet instrument idolâtré par certains, abhorré par d'autres, l'ordinateur.

Ordinateur

Le mariage de l'accumulation des données avec l'ordinateur a donné naissance à la taxonomie numérique, née en 1963 des travaux de Sneath et Sokal à partir des principes émis par un précurseur, Adanson, dès le 18^{ème} siècle (1757). Les similitudes, établies sur les caractères phénotypiques reposent sur des principes tels que ceux-ci : à priori chaque caractère a un poids égal, plus les caractères seront nombreux, meilleure sera la classifica-



Divers types de zymogrammes. Dans chaque schéma se trouvent à droite et à gauche les diagrammes des géniteurs et au centre celui de leur hybride. (Adapté de Scandalios, 1969 et Beckman & Scandalios, 1964.)

a, les fractions du diagramme de l'hybride représentent la somme de celles des parents; ex.: alcool déshydrogénase (ADH_1) et certaines amylases du maïs.

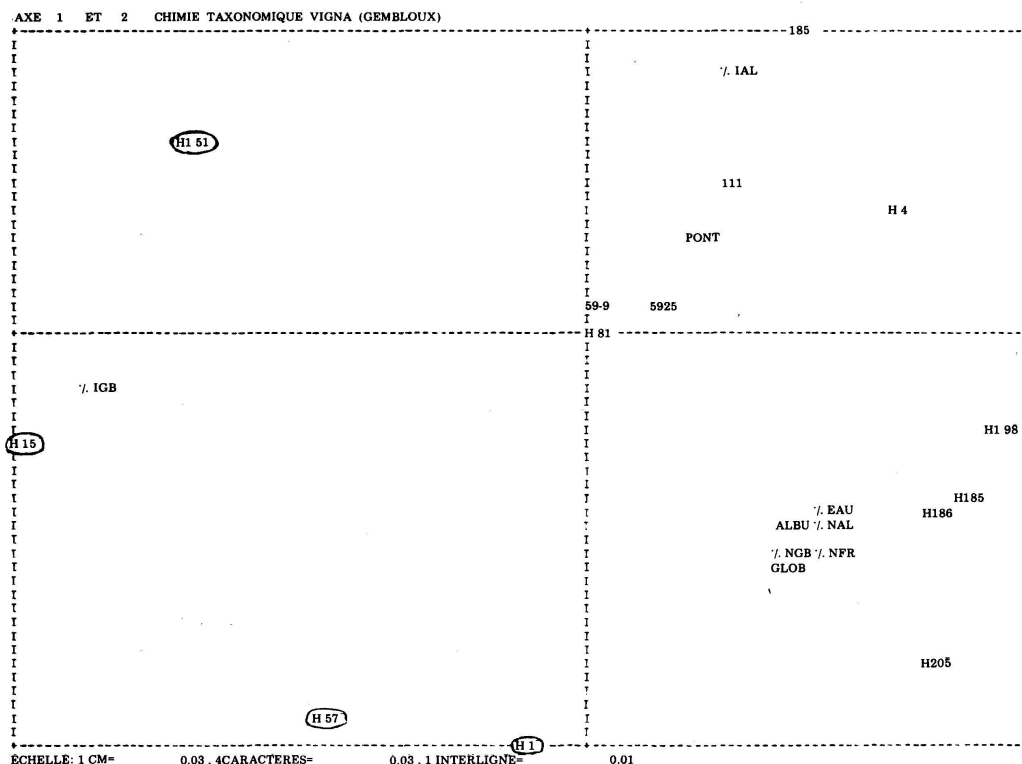
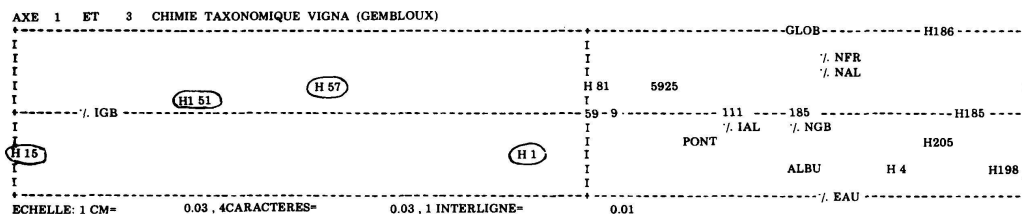
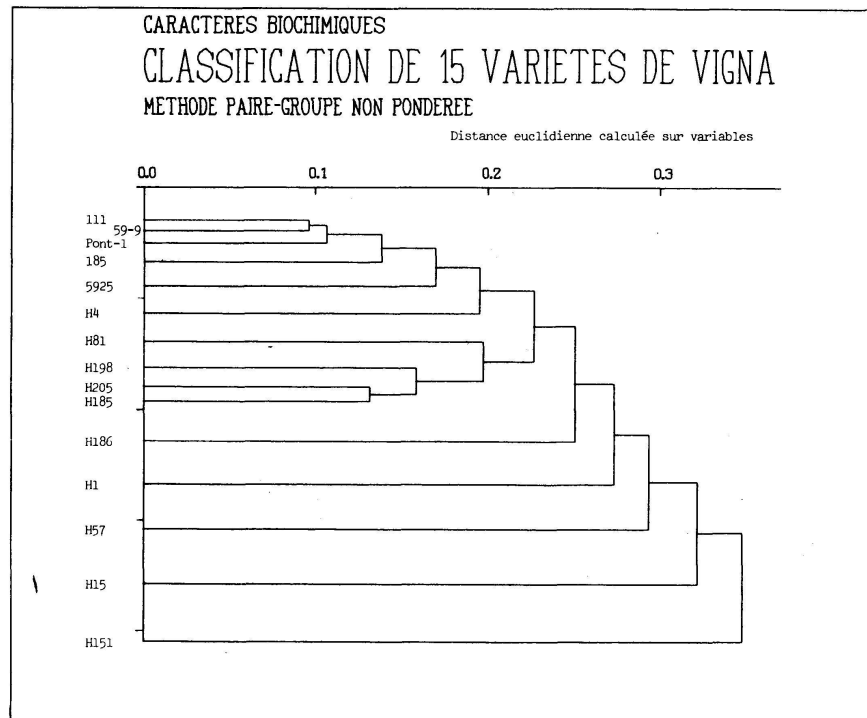
b, variants amylasiques de deux lignées de maïs. L'hétérozygote F_1 présente une unique bande hybride intermédiaire.

c, l'hétérozygote révèle outre les deux bandes parentales une bande hybride intermédiaire; ex.: alcool déshydrogénase (ADH_2), certaines amylases et estérases du maïs (enzymes dimères).

d, l'hétérozygote montre deux fractions intermédiaires outre les bandes parentales (enzymes trimères).

e, l'hétérozygote présente cinq fractions dont trois intermédiaires (enzymes tétramères).

f, variations électrophorétiques de la catalase de l'albumen du maïs. 1. variant rapide; 2. variant lent. Par autofécondation, les lignées parentes fournissent exactement les mêmes diagrammes. Par croisement deux types sont réalisés, l'un à migration rapide (3), l'autre à migration plus lente (4). Les lignes pointillées correspondent à une fraction hypothétique non visible sur le zymogramme. Dans l'échantillon 3, la bande qui se trouve au-dessus de la ligne pointillée n'est qu'occasionnellement visible. Il en est de même pour la bande située immédiatement au-dessous des pointillés dans l'échantillon 4.



tion. Comme le dit Mascherpa, ces principes fournissent l'algorithme du travail du systématicien, c'est-à-dire l'ordre dans lequel il doit entreprendre sa recherche. : — observation des unités taxonomiques et leur quantification, — établissement de mesures de ressemblance sur lesquelles il établira les nouveaux taxons, — choix de nouveaux caractères à observer, leur pondération à posteriori d'après leur pouvoir discriminant, enfin établissement de clés de classification et de flores. Des dendrogrammes sont construits, mais, malgré leur ressemblance avec des arbres généalogiques, ils ne fournissent aucune indication phylogénétique. Aussi désigne-t-on, souvent, les groupes classés, sous le terme de phénons.

Les méthodes de classification automatique étaient utilisées jusqu'à maintenant, mais elles cèdent la place de plus en plus à l'analyse factorielle qui permet, comme le dit Benzécri, de "représenter géométriquement dans un espace de faible dimension des situations multidimensionnelles". D'autres méthodes d'ordination sont utilisables selon les situations: elles étudient toutes la répartition des individus dans l'hyperespace des variables: analyses en composantes principales, analyse des variables canoniques, analyse discriminante... on les appelle encore analyses multivariées car elles utilisent les statistiques attachées aux distributions simultanées de plusieurs variables en jeu. Ces multiples possibilités peuvent être adaptées à des situations très diverses de la biologie et de la systématique, mais, là encore, cet outil n'est efficace qu'en des mains expérimentées car, bien sûr, malgré ses étonnantes performances, l'ordinateur n'est qu'une machine qui n'invente rien et ne travaille qu'en fonction de ce qu'on lui fournit.

Avant d'arrêter ce survol, trop rapide sans doute, des multiples aspects de la taxonomie végétale, j'évoquerai une voie très actuelle, également très florissante de la botanique: l'écosystématique née du dramatique déséquilibre des systèmes vivants. Une autre activité de la botanique bénéficie des constants progrès de la génétique et de la cytologie, c'est la biosystématique. La paléobotanique se développe, elle aussi, qui contribue à retracer l'histoire de la terre. Bien des mystères demeurent encore depuis l'apparition des premiers êtres primitifs, des procaryotes (bactéries, cyanophycées fossiles), il y a plus de 2 milliards d'années. Malgré la découverte de formes ancestrales plus évoluées, l'énigme de l'origine des angiospermes demeure. Macro et mégaévolutions n'ont pas livré leurs secrets. Les évolutionnistes se rattrapent sur l'explication de la microévolution et de la spéciation, telles les remarquables synthèses de Grant et de Stebbins.

Mais il est bien vrai que la botanique systématique est une "synthèse sans fin", une science en perpétuel chantier. Et même, dit Merxmüller après

- ◀ Classification de 15 variétés appartenant à 4 espèces de *Vigna* (méthode paire-groupe non pondérée) et analyse des correspondances groupant les taxons relativement aux axes factoriels qui portent la plus grande quantité de l'information, ici les axes 1 et 2

(axe 1: % de l'activité anti-trypsine liée aux globulines vs taux de globulines et teneur en azote des globulines,

axe 2: % de l'activité anti-trypsine liée aux albumines vs taux d'albumines et teneur en azote des albumines)

(l'axe 3: teneur en eau de la farine vs teneur en azote de la farine, ne porte que peu d'information) (d'après Mascherpa).

Constance, un Sisyphe qui, quand il croit atteindre le but se retrouve à zéro. Ce qui est pessimiste. Si la botanique systématique est toujours inachevée, elle est tout de même, comme le disent Alston et Turner, en continuel progrès, chaque nouvelle période s'enracinant dans la période précédente pour aller plus loin, ainsi se sont succédées jusqu'à nos jours 5 périodes: mégamorphique, micromorphique, évolutive, cytogénétique et biochimique. A chaque étape, il y a émergence; mais il faut se dire avec humilité, que sans doute, jamais l'essence profonde des choses ne sera atteinte, le mystère fondamental subsistera malgré les perfectionnements prévisibles de nos connaissances, et faut-il s'en plaindre, que serait un monde sans mystère?

Mais, il ne faut pas confondre mystère avec ésotérisme. La botanique ne peut s'enfermer dans une construction artificielle faite par et pour quelques initiés. Elle est née des relations de l'homme avec les plantes, relations qui sont vieilles comme le monde. Et ces relations sont plus actuelles que jamais. L'homme a toujours besoin des plantes pour sa subsistance, pour ses remèdes. La chasse aux plantes antibiotiques, anti-cancéreuses, antidiabétiques etc. mobilisent des équipes entières. Beaucoup de découvertes sont encore latentes.

Mais encore, l'homme ne doit-il pas détruire cette Nature nourricière, comme il le fait trop souvent. Les clichés suivants montrent quelques étapes de ces destructions.

Le point de départ peut être cette forêt vierge luxuriante mais fragile où fougères arborescentes et *Dracaena* dominant. Puis c'est une végétation toujours belle bien que déjà touchée.

Le feu ravageur, en général mis volontairement pour établir les champs ou pour poursuivre des activités de chasse ou encore bouté pour le plaisir, anéantit les espèces sensibles; les flores s'amenuisent et se banalisent.

Le résultat de ces agressions, c'est ce paysage certes magnifique mais où le ligneux protecteur qui limite érosion, lessivage et destruction des terres, n'existe plus qu'à l'état résiduel. Ensuite, vient une urbanisation d'abord primaire, primitive, mais qui fera place aux buildings, aux grands immeubles qui rendent chaque ville semblable aux autres, lui enlevant sa personnalité.

Heureusement, les jardins sont là, lieux de détente, de sciences, de loisir et de poésie. Le Jardin botanique de Genève est tout cela à la fois, aussi est-il cher au cœur et à l'esprit des Genevois. L'on y retrouve aussi en microcosmes l'exotisme, par exemple avec ces dahlias dont l'origine est mexicaine ou avec ces *Nepenthes* malgaches, plantes curieusement carnivores. Ils sont, ces jardins, un des moyens d'embellir la vie et d'aborder la botanique. Une botanique obligée d'aller toujours de l'avant et dans toutes les directions.

La botanique est ainsi une vieille dame toujours jeune, à l'image de notre vénérable Société Helvétique, car n'est-il pas évocateur ce nom de "Société Helvétique des Sciences naturelles". La Suisse n'a pas répudié au rayon des vieilles lunes ce terme désuet de sciences naturelles. Quelle sagesse et quelle préscience! Car le malaise de notre monde en désarroi et qui n'épargne pas les scientifiques, ne provient-il pas de l'oubli de la dépendance de l'homme envers la nature. Que nous soyons ici réunis venant d'horizons géographiques et scientifiques divers est un signe de jeunesse et d'espérance. Et je vous remercie d'avoir généreusement réservé les honneurs d'une conférence à cette botanique que nous souhaitons au service de tous.

2. De l'univers cosmique au mystère des trous noirs

Henri Andrillat (Université des sciences et techniques
du Languedoc de Montpellier, France)

Initialement conçue comme une théorie de la gravitation, la relativité générale s'est révélée d'une prodigieuse efficacité pour décrire les propriétés de l'Univers à grande échelle, au point qu'elle apparaît aujourd'hui comme la plus importante des théories cosmologiques. Ce sont ses aspects les plus modernes que nous voudrions esquisser dans cet exposé.

Tout d'abord, on ne devra pas être surpris qu'une même théorie soit à la fois explicative de la gravitation et des propriétés générales de l'Univers; cela tient au caractère universel de la loi de gravitation qui apparaît comme la loi la plus fondamentale de la physique.

Il n'est sans doute pas superflu de réfléchir à nouveau sur le problème de la gravitation en essayant de se replacer dans son contexte historique. Nous sommes aujourd'hui les témoins familiers d'une exploration très lointaine de l'Univers, à une échelle de plusieurs milliards d'années-lumière. Mais nous devons nous souvenir que, de l'antiquité à la fin du siècle dernier, la seule prétention de l'astronomie fut d'expliquer le mouvement des planètes du système solaire. Les noms de Ptolémée et de Copernic restent attachés à ces grands courants d'idées. Le système de Ptolémée expliquait le mouvement des planètes par des mouvements circulaires uniformes sur deux familles de cercles, les épicycles et les déférents, ces derniers étant irréductiblement centrés sur la terre, considérée comme le centre fixe de tout l'Univers. La révolution copernicienne consista en cette courageuse et presque inimaginable démarche de l'esprit que fut le renoncement à ce géocentrisme. Copernic expliquait plus simplement le mouvement des planètes par des mouvements circulaires uniformes de toutes les planètes, y compris la terre, sur une seule famille de cercles centrés sur le soleil. Mais que l'on considère le système de Ptolémée ou celui de Copernic, on constate que le mouvement fondamental, le mouvement naturel, le mouvement "parfait" apparaissait comme le mouvement circulaire uniforme.

Ainsi lorsque Galilée réussit à *induire de l'expérience* son célèbre principe d'inertie et montra que le mouvement structural dans l'Univers, le mouvement naturel, celui de la particule libre, était le mouvement *rectiligne* uniforme et non le mouvement circulaire, alors se trouva posé à la sagacité des siècles futurs le grand problème de la gravitation: quelle meilleure représentation du point libre que la planète gravitant dans le vide intersidéral? Pourquoi alors ce mouvement orbital, alors que le principe de Galilée lui imposait un mouvement rectiligne?

On connaît les deux solutions proposées jusqu'alors à ce problème: celle de Newton qui lie la planète au soleil par une force d'attraction, celle d'Einstein qui conserve à la planète son caractère de particule libre mais explique l'aspect orbital et fermé de sa trajectoire par une courbure de l'espace au voisinage des masses.

Malgré le caractère "a priori" de la force de Newton et notre répugnance à concevoir une telle action à distance entre le soleil et la planète,

force nous est de reconnaître l'extraordinaire précision avec laquelle la théorie de Newton permit de prévoir le mouvement des planètes, précision qui assura un véritable triomphe à la mécanique céleste, à la fin du siècle dernier. Ainsi pour emporter notre préférence, la théorie de relativité générale d'Einstein a dû d'abord faire la preuve qu'elle contenait en première approximation tous les résultats de la théorie newtonienne et montrer ensuite qu'elle pouvait aller plus loin, plus au fond des choses. Il était alors facile de se laisser séduire à ce modèle géométrique, à cette explication presque visuelle de la si mystérieuse gravitation. Donnons un exemple de ce caractère de profonde épistémologie constamment sous-jacente à la théorie. Empruntons-le à l'hypothèse même de la courbure de l'espace! Dans l'esprit de la théorie, le principe de Galilée n'apparaîtra que comme un cas particulier d'un principe plus général, le principe des géodésiques. Si le point libre se meut d'un mouvement rectiligne et uniforme, c'est que, dans son espace qui est vide, la ligne de plus courte distance, la géodésique, est la droite. L'espace vide est sans courbure. Mais qu'une masse soit présente, alors l'espace sera courbé; la particule libre, la planète, décrira la ligne de plus courte distance de cet espace, la géodésique, et cette ligne pourra être courbée au point de se refermer sur elle-même en trajectoire orbitale.

Ainsi dans le monde matériel qui nous entoure, le principe de Galilée, dans sa forme pure de mouvement rectiligne uniforme, n'est qu'une approximation du mouvement réel. La bille que nous lançons sur une table est à chaque instant soustraite à l'action du champ terrestre. Elle est soumise à l'action du champ d'attraction du soleil et des autres astres. Celui du soleil est prépondérant. Le mouvement de la bille que nous observons sur la table est alors une infime partie de son mouvement orbital autour du soleil. Il n'est rectiligne et uniforme qu'en approximation.

Ces idées prennent corps quantitativement sous la forme d'équations précises qui permettent la comparaison avec la théorie de Newton.

Ce sont d'abord les célèbres "équations d'Einstein" ou équations du champ de gravitation. Ce sont des équations tensorielles qui égalisent le tenseur de la géométrie de l'espace avec le tenseur physique impulsion-énergie, fonction des pressions, des densités, donc des masses du milieu matériel. Ainsi se trouve exprimé sous forme quantitative précise le fameux principe de Mach selon lequel la géométrie de l'espace (et en particulier sa courbure) est *déterminée* par son contenu matériel.

Une solution des équations d'Einstein est une métrique d'espace-temps qui définit en particulier toutes les propriétés géométriques de l'espace, dont la courbure.

Le principe des géodésiques s'exprime alors de façon précise:

— les équations des géodésiques de la métrique d'espace-temps sont identiques aux équations du mouvement de la particule libre.

Un sous-ensemble important de géodésiques sont les géodésiques de longueur nulle qui décrivent les mouvements possibles de ces particules libres particulières que sont les photons.

Ainsi le problème de la gravitation dans le champ du soleil est parfaitement structuré. C'est le problème du mouvement de la particule libre dans l'espace vide autour d'une masse. Avec ces données du problème, les équations d'Einstein prennent une forme simple; leur solution est connue et

unique: c'est la métrique de Schwarzschild dont les équations des géodésiques reproduisent les équations du mouvement képlérien dans la théorie de Newton, à condition de négliger un terme vraiment "négligeable". Si par contre on ne néglige pas ce petit terme, la solution trouvée est celle d'une orbite képlérienne qui tourne lentement dans son plan: c'est la fameuse explication de l'avance des périhélies, phénomène mesurable seulement pour la planète Mercure mais inexplicable dans la théorie de Newton.

Par ailleurs, les photons, ces particules libres particulières, suivent également des géodésiques particulières de l'espace dont la courbure devient sensible très près du soleil. On prédit ainsi la déviation des rayons lumineux vérifiée lors des éclipses de soleil. Historiquement ces deux tests fameux assurèrent le succès de la relativité générale. Ce sont pourtant de bien petits effets: l'avance périhélique de Mercure est un résidu de seulement 43'' par siècle et le déplacement apparent d'une étoile au bord du soleil est d'environ 1'',8. L'explication en est que la courbure de l'espace est très faible. Autrement d'ailleurs elle nous eût paru évidente. Le concept intuitif d'un espace euclidien sans courbure où les géodésiques sont des droites vient précisément de la courbure presque imperceptible de l'espace réel.

Essayons de visualiser cette courbure! Comme notre concept d'espace se limite à 3 dimensions, il nous est impossible, dans l'espace tridimensionnel euclidien que nous imaginons, de *voir* la courbure d'un autre espace tridimensionnel. Nous pouvons par contre nous y représenter facilement une *surface* courbe. Dans le problème qui nous intéresse ici, l'étude des surfaces orbitales s'impose d'elle-même. Dans la théorie de Newton, l'orbite d'une planète est contenue dans un plan passant par le soleil. Les surfaces orbitales y sont donc des plans. Dans la théorie de la relativité générale, les orbites sont contenues sur des paraboloïdes de révolution très évasés (fig. 1). La forme d'une telle surface ne dépend que de la masse attractive, par exemple la masse du soleil dans le cas qui nous intéresse. On montre alors facilement que la gorge de cette surface a seulement un rayon de 3 km (le rayon de Schwarzschild de la masse solaire) alors que le rayon du soleil est de 700'000 km. La comparaison de ces deux nombres est éloquente car elle montre que toute la partie de la surface orbitale d'une planète, extérieure au soleil, est quasiment plane, comme l'avait découvert en première approximation la théorie de Newton. Mais on voit ici le rôle essentiel joué par la géodésique que suit la planète. C'est une conique, par exemple un cercle ou une ellipse, car c'est une section plane du paraboloïde.

Ainsi la première idée importante à retenir c'est que, à l'extérieur des masses, même importantes comme le soleil, la courbure de l'espace est très faible, à peine discernable de l'espace plat euclidien. Les prédictions des avances périhéliques et des déviations des rayons lumineux sont de si petits phénomènes que, malgré leurs vérifications incontestables, les deux théories se valent dans cette région d'espace à faible courbure que constitue le système solaire.

Par contre, dans les régions de l'espace à grande courbure, univers à grande échelle ou au contraire coquilles de trous noirs, la relativité générale va pouvoir donner toute sa mesure.

Si une étoile s'écroule sur elle-même jusqu'à prendre un diamètre relativement très petit mais en conservant sa masse, elle va découvrir la partie centrale, très incurvée, des surfaces orbitales paraboloïdales. Les progrès de l'astro-

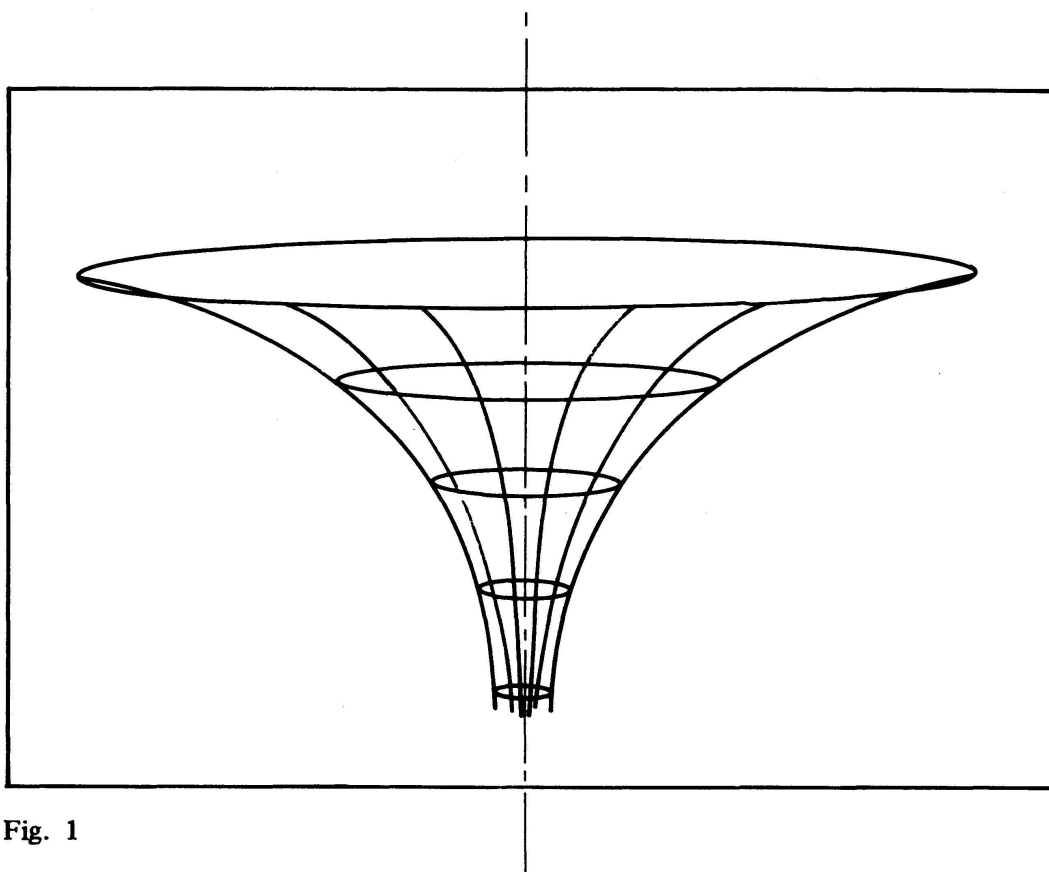


Fig. 1

physique nous confrontent avec de tels écroulements gravitationnels d'astres.

Que cessent dans le noyau de l'étoile les réactions thermonucléaires de transmutation de l'hydrogène en hélium, alors dans les couches externes, la température baissera et avec elle la pression gazeuse qui contrebalance la gravité. L'étoile s'écroulera sur son centre atteignant le plus souvent un autre état d'équilibre que l'équilibre gazeux: par exemple, l'état solide équilibre la naine blanche qui n'a plus (pour une masse de l'ordre de la masse solaire) qu'un rayon de 7'000 km (ordre de grandeur de celui d'une planète). Pour une masse plus grande, la force d'écroulement brisera cet état solide et l'équilibre se fera sur un noyau superfluide de neutrons. C'est l'étoile à neutrons, le pulsar découvert par les radioastronomes, dont le rayon n'est plus que de quelques dizaines de kilomètres.

Que se passe-t-il alors pour une masse stellaire encore plus grande, largement supérieure à 2 masses solaires?

La théorie de Newton n'apporte aucune prédiction car le potentiel de gravitation n'y dépend que de la densité de matière.

A une hyperdensité produite par l'écroulement d'une grande masse, correspond une très grande force de gravité mais qui peut dire si l'état physique alors produit ne développe pas une hyperpression antagoniste? La théorie elle-même ne nous apprend rien sur ces éventuels états physiques inconnus de la physique habituelle.

Dans la théorie relativiste au contraire, le potentiel croît non seulement avec la densité de matière mais encore avec la pression. On peut alors montrer qu'à partir d'une certaine valeur de la masse initiale en écroulement,

plus aucun état d'équilibre ne sera atteint. La pression antagoniste tend-elle à augmenter pour réaliser un nouvel état d'équilibre? Comme elle est elle-même source de potentiel, elle développera une force de gravité plus grande qui la brisera.

Ainsi rien n'arrêtera l'écroulement gravitationnel total de l'astre jusqu'à la singularité de rayon nul. Pourrons-nous alors observer toute la géométrie du paraboloïde, le trou qu'il laisse béant vers quels autres horizons? La réponse est non.

Par un effet relativiste du temps, le temps de l'observateur se sépare très vite du temps propre de l'astre en écroulement. L'astre atteint son rayon de Schwarzschild (le rayon de la gorge du paraboloïde) en un temps propre très court de l'ordre de 10^{-5} sec. mais en un temps *infini* pour l'observateur. Ainsi bien que le phénomène d'écroulement se poursuive pour l'astre, qu'il se détache, ultérieurement dans son temps propre, de la géométrie de notre univers, (de la gorge du paraboloïde quand le rayon de l'astre devient plus petit que son rayon de Schwarzschild) et bien qu'il continue, toujours dans son temps propre, à évoluer vers la singularité de rayon nul, l'observateur extérieur ne le verra jamais, par un effet de perspective de son propre temps, se détacher de notre univers.

Cette limite observationnelle, cet "horizon des événements" qui se produisent lorsque l'écroulement de l'astre atteint son rayon de Schwarzschild c'est le trou noir. On notera que cette existence de l'horizon élude le problème du devenir de la matière à la singularité de rayon nul. Dans le cadre de la relativité générale, on ne perd jamais le contact avec la physique réelle.

A la durée propre finie d'écroulement (de l'ordre de 10^{-5} sec.), correspond une émission par l'astre d'un *nombre fini* de photons. A leur réception par l'observateur, ces photons en nombre fini s'étaleront sur une durée *infinie*. L'effet est celui d'une décroissance exponentielle de la luminosité apparente L de l'astre:

$L = L_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ où L_0 est la luminosité initiale, t est le temps de l'observateur et τ une durée de l'ordre de 10^{-5} . Pour l'observateur, en 1 sec. ($t = 1$), la luminosité apparente L devient:

$$L = L_0 e^{-\frac{1}{10^{-5}}} = L_0 e^{-10^5} = \frac{L_0}{e^{100.000}}$$

La luminosité résiduelle est donc physiquement nulle. Rien n'est plus noir dans la nature qu'un trou noir.

On montre aussi sans difficulté que rien ne peut sortir d'un trou noir, ni photons, ni a fortiori aucune particule matérielle.

Enfin les équations établissent que la géométrie du trou noir est une géométrie dynamique. Une fois passé son rayon de Schwarzschild, l'astre détaché de notre univers est devenu un autre univers à la géométrie pulsante, évoluant entre une singularité de rayon nul du passé et une singularité de

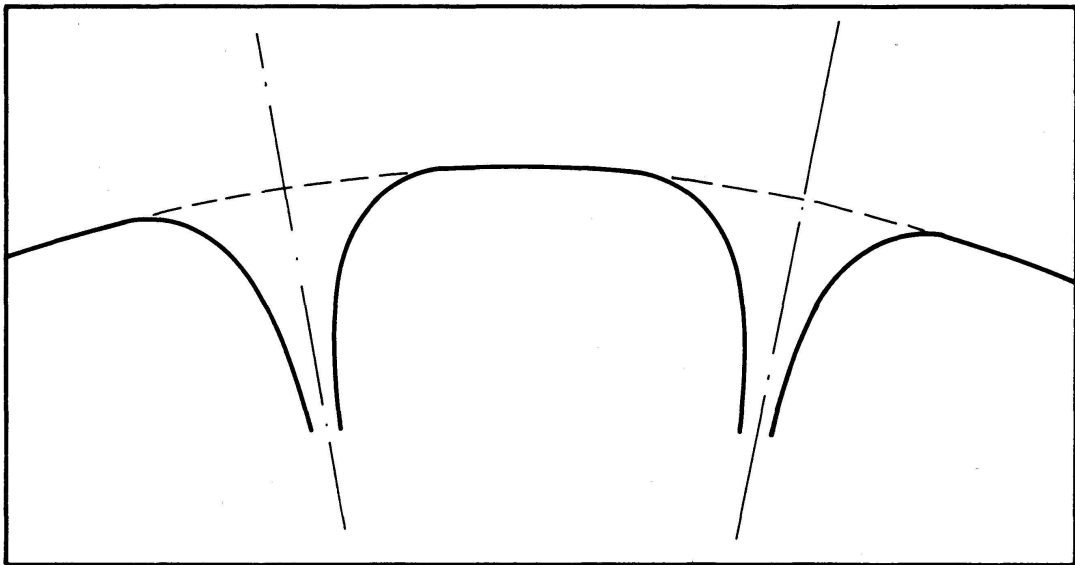


Fig. 2

rayon nul du futur, en passant par le point d'expansion maximale qui coïncide avec la sphère de Schwarzschild (fig. 2). Mais toute cette évolution de la géométrie du trou noir n'apparaît que dans son temps propre. Elle se situe *hors du temps de l'observateur extérieur*, pour qui le trou noir n'est que la coquille statique de cette géométrie, coquille qui coïncide avec la sphère de Schwarzschild.

Telles sont dans leur très grandes lignes les prédictions théoriques de la relativité générale. Elles pourraient paraître bien spéculatives si elles ne devaient déboucher sur la découverte astrophysique des trous noirs.

Un tel astre étant invisible par lui-même, le seul espoir est de mettre en évidence son environnement, dans un système d'étoiles doubles; par exemple, une supergéante et un compagnon invisible mais dont la masse est connue par le déplacement périodique des raies de la supergéante. Voilà déjà un bon candidat au trou noir! Que de plus le système soit une radio-source et une source X, voilà qui prouve que les parties les plus externes de l'atmosphère de la supergéante viennent former un anneau de gaz très chaud autour du compagnon invisible, anneau constamment renouvelé et constamment précipité dans ce fantastique puits de potentiel de l'astre écroulé. Qu'on puisse alors mesurer la durée des variations du rayonnement X comme on a pu le faire pour Cygnus X1, on connaîtra le diamètre $d = c \theta$ de cet anneau de gaz (c : vitesse de la lumière). C'est aussi l'ordre de grandeur du diamètre de l'astre écroulé. Que ce diamètre soit précisément, comme ce fut découvert pour Cygnus X1, le diamètre de Schwarzschild de la masse, calculée par la méthode spectroscopique, voilà qui peut difficilement passer pour pure coïncidence. C'est bien, au contraire, l'observation réelle d'un trou noir, guidée par les considérations théoriques précédentes, une grande première observationnelle démontrant de façon éclatante l'efficacité de la

relativité générale.

Abordons maintenant le point de vue cosmologique. L'espace est physiquement un. Sa courbure au voisinage du soleil se raccordera donc à celle de l'espace qui environne la plus proche étoile. Dans ce contexte, toute masse, celle d'une planète, ou d'un objet, ou d'un atome, apparaîtra comme un accident local de courbure d'une géométrie générale, qui ne sera autre que la géométrie globale de l'univers tout entier véritable enveloppe des géométries particulières au voisinage des diverses masses qui le constituent. (voir fig. 2)

Ainsi la courbure locale, si difficilement discernable de l'espace euclidien plat, au voisinage de la terre par exemple, apparaît corollaire d'un rayon de courbure gigantesque à l'échelle de l'univers tout entier, susceptible éventuellement de refermer tout l'espace physique sur lui-même, un peu à l'image de la trajectoire orbitale de la bille qui roule sur une table, qu'il est pratiquement impossible de distinguer de la trajectoire galiléenne rectiligne et qui, pourtant, se refermerait en une gigantesque orbite autour du soleil, analogue à celle de la terre si l'expérience pouvait être poursuivie assez longtemps.

Le fait essentiel qui découle des équations citées précédemment et appliquées cette fois à l'univers tout entier est l'existence d'une courbure unique à un instant donné, autrement dit d'une géométrie à courbure uniforme, comme l'est, à deux dimensions par exemple, la surface de la sphère.

La solution la plus générale des équations d'Einstein appliquées à l'univers tout entier est la métrique de Robertson-Walker, où le rayon de courbure de l'espace est une fonction du temps cosmique. Cette fonction $R(t)$ décrit l'évolution de la géométrie, c'est-à-dire l'histoire de l'univers et de son évolution. Est abandonnée désormais l'idée première d'un univers statique, immuable. La variation du rayon au cours du temps explique simplement la grande loi d'observation de Hubble sur le décalage spectral des galaxies, d'autant plus grand que la galaxie est plus lointaine. On montre

facilement que, si z est le décalage spectral $\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$, on a :

$$1 + z = \frac{R(t_0)}{R(t_e)}$$

t_0 étant l'instant actuel, t_e l'instant d'émission des photons par la galaxie observée. Ainsi le décalage spectral est orienté vers le rouge ($z > 0$), comme on l'observe effectivement, si la fonction $R(t)$ est croissante, si la géométrie se dilate. C'est l'explication du décalage spectral des galaxies par *l'expansion* de l'univers.

La relativité générale a donc posé de façon précise le problème cosmologique :

- 1) connaître la géométrie de l'univers et notamment pouvoir dire si l'espace est fermé sur lui-même, donc fini, ou non.
- 2) connaître l'évolution de cette géométrie, c'est-à-dire la fonction $R(t)$.

Les choix ne sont pas infinis; les solutions générales des équations ne livrent qu'un petit nombre de fonctions $R(t)$, nous dirons de modèles d'univers. Une solution définitive serait évidemment fournie si l'on pouvait définir de façon précise le tenseur impulsion-énergie des équations d'Einstein.

stein. Il faudrait pour cela des observations très élaborées des galaxies lointaines pour connaître avec précision pressions, masses, densités moyennes du contenu matériel de l'univers à grande échelle. Faute de cela, on est conduit à examiner tous les modèles possibles qui, avec quelques variantes, se répartissent en 2 familles:

Famille I: pas d'origine dans le temps, par exemple la fonction exponentielle fig. 3 courbe d).

Famille II: une origine dans le temps, avec une dérivée infinie de la fonction $R(t)$ en ce point (explosion primordiale de l'univers), par exemple, la fonction cycloïdale (fig. 3 courbe c).

L'existence de la famille II conduisit bientôt au problème de la recherche de la preuve éventuelle de l'explosion primordiale. Dans les premières phases d'une telle explosion, l'univers ne pouvait être qu'un corps noir à très haute température. La suite de son histoire, au cours de l'expansion de l'espace, fut celle d'un long refroidissement mené parallèlement à une très partielle condensation du rayonnement en matière, ayant abouti à l'univers matériel que nous connaissons. La loi de refroidissement est simple. Elle s'exprime par la relation:

$$R.T = Cte$$

où R est le rayon de courbure de l'univers à un instant donné et T sa température à ce même instant.

Les données d'observation amenèrent à prévoir que, dans son état actuel d'expansion, le rayonnement initial de l'univers n'était plus que celui d'un corps noir à quelques degrés absolus. Un tel rayonnement à caractère thermique (courbe du corps noir de Planck) et nécessairement isotrope était observable sur ondes millimétriques et centimétriques.

En 1965, Penzias et Wilson, à l'aide d'antennes construites par la Bell-Telephone pour recevoir les signaux des satellites Echo, découvrirent le rayonnement de $3^{\circ}k$ et reconnurent son caractère isotrope. Cette découverte du résidu actuel du rayonnement de l'explosion primordiale était la seconde grande découverte de la cosmologie, après celle du décalage spectral des galaxies par Hubble en 1925.

A la suite de cette observation du rayonnement de $3^{\circ}k$ (dont le caractère thermique vient aussi d'être mis en évidence tout récemment), la recherche du modèle d'univers se trouve quelque peu simplifiée puisqu'elle se limite aux modèles de la famille II. Se trouvent ainsi éliminés les célèbres modèles stationnaires de la famille I, imaginés par Hoyle et Bondi sur la très originale idée d'une création *continue* de la matière dans l'univers.

De plus, parmi les modèles de la famille II, le problème de la géométrie de l'univers n'est plus vraiment dissocié de celui de son évolution.

Si le modèle a l'évolution a), sa géométrie est hyperbolique. L'univers est infini et ouvert.

Si le modèle présente l'évolution b), sa géométrie est cylindrique, isométrique à l'espace euclidien, également ouvert et infini.

Si le modèle présente l'évolution c), sa géométrie est elliptique (ou sphérique). L'espace est *fermé* sur lui-même et l'univers *fini*.

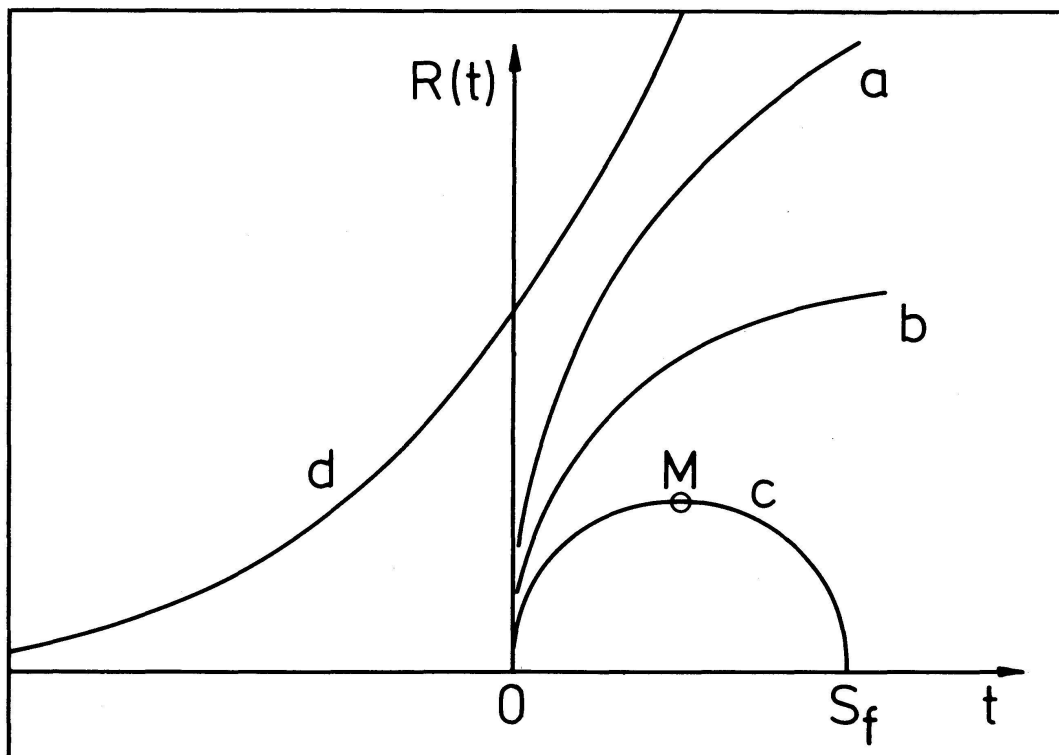


Fig. 3

Dans ce cas, l'univers présente un point d'expansion maximale M, suivi éventuellement d'une phase de contraction (symétrique de la phase d'expansion actuelle) qui le conduirait alors à une nouvelle singularité S_f ($R = 0$) dans le futur.

On remarquera que, bien que la courbe représentative de la fonction $R(t)$ traduise une structure *a priori* de l'univers et puisse par conséquent présenter une forme quelconque, les courbes a), b), c), qui présentent l'explosion primordiale, correspondent mieux à notre intuition de la gravitation. Est éloquent l'analogie avec les 3 types habituels d'orbite képlérienne: ellipse, parabole, hyperbole et avec l'effet de décélération sur les orbites à branches infinies.

La découverte de la preuve observationnelle d'une explosion primordiale de l'univers a permis de bien cerner le problème cosmologique: le modèle d'univers présente-t-il un rayon maximal ou pas? La première hypothèse est un excellent outil de travail, car (comme ce fut autrefois le cas du modèle de Hoyle et Bondi) le modèle c) est défini de façon univoque. S'il ne représente pas le modèle réel d'univers, il sera très vite infirmé par l'observation, comme ce fut le cas du modèle stationnaire en question. Les arguments en faveur de ce choix sont actuellement seulement théoriques.

Expansion de l'univers, refroidissement du rayonnement de l'espace, entropie croissante (ou plus exactement négentropie décroissante), second principe de la thermodynamique sont toutes formes diverses d'une même réalité.

La *structure* de l'univers pourrait bien être le seul segment de courbe OM du modèle c) conduisant l'univers d'une singularité du passé, O, au point d'entropie maximale M, véritable mort thermique de l'univers où plus aucune négentropie n'est disponible, plus aucune transformation de l'énergie n'est possible. Dans ce contexte, le segment MS, symétrique mathématique de OM n'aurait aucune signification physique. Autrement, il faudrait réinterpréter la phase MS de contraction de l'univers, et renoncer pour cette phase au second principe de la thermodynamique. Il faudrait aussi imaginer le devenir de l'univers en sa singularité du futur S_f .

Ces insurmontables difficultés sont évidemment inexistantes dans les modèles a) et b) à expansion indéfinie mais peut-on alors donner un sens à l'entropie d'un espace infini?

L'autre argument en faveur du modèle c) est l'analogie de la courbe d'évolution avec celle de la géométrie d'un trou noir. En M, on peut montrer facilement que le rayon maximal de l'univers est aussi le rayon de Schwarzschild de sa masse.

Notre univers qui comporte des trous noirs, résidus d'écroulement gravitationnel total de certaines étoiles, serait-il lui-même un trou noir d'un univers d'ordre supérieur? Rêve ou spéculation intellectuelle? Peut-être seulement la grande leçon que nous apporte la Théorie de la Relativité Générale: celle des horizons absolus de la physique qui sont aussi les horizons absolus de la connaissance: le trou noir (point de vue intérieur) et l'expansion maximale d'un univers fini (point de vue extérieur).

Quel sujet de choix pour la discussion philosophique! Savoir qu'il existe peut-être d'autres univers avec lesquels aucune communication physique n'est possible, ou si l'on veut, un univers existentiel, ensemble de tout ce qui existe, et dans cet ensemble peut-être infini, notre univers physique, seul connaissable, borné par les horizons de sa propre géométrie.

S'il est vrai que la possibilité de la connaissance est équivalente à la connaissance elle-même, il était nécessaire qu'une certaine théorie physique posât un jour l'existence d'"horizons des événements".

A priori, de ce point de vue, un modèle stationnaire, comme celui de Hoyle, *devait* s'avérer inadéquat. Dans un tel modèle, toute partie spatio-temporelle était isomorphe à la géométrie de l'ensemble: la connaissance d'une région suffisamment étendue de l'espace, pendant une durée limitée, y aurait apporté la connaissance du tout.

Cette limitation physique de la connaissance semblera peut-être une cruelle déception pour certains, mais l'horizon des événements n'est-il pas là pour éluder le problème des singularités où règne la physique de l'impensable?

Alors quelle plus belle leçon de sagesse aurait pu nous donner la théorie d'Einstein que celle-ci: fixer les bornes de la connaissance à l'échelle de l'esprit humain.

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:

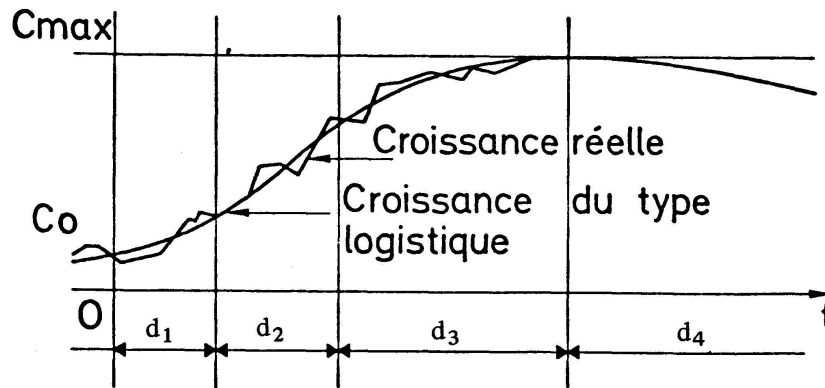


Fig. 1 Exemple de la courbe de croissance de la grandeur $C(t)$

- 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.

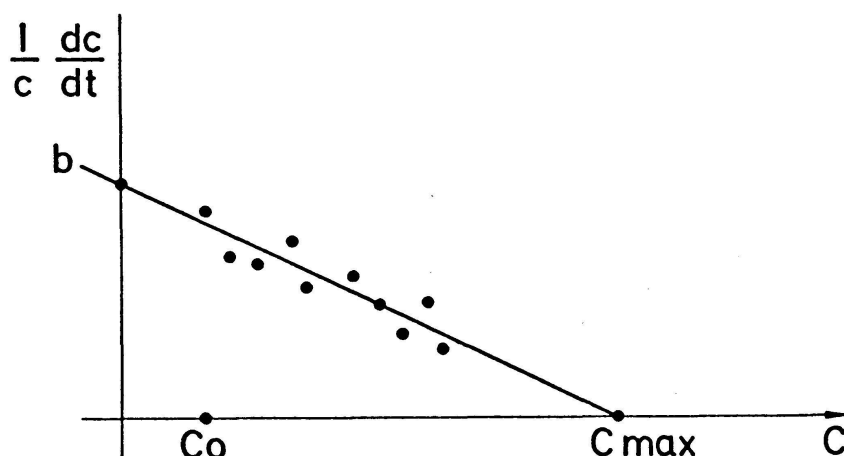


Fig. 2 Détermination des 2 paramètres C_{\max} et b caractéristiques d'une courbe logistique

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.

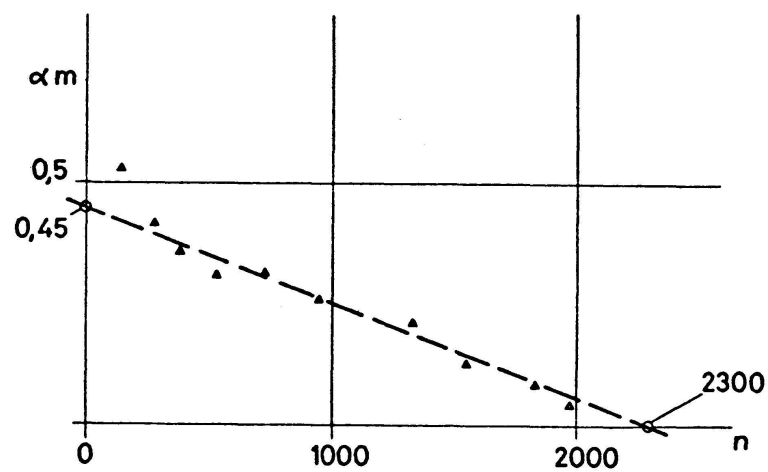


Fig. 3 Valeur moyenne α_m du taux d'accroissement annuel du nombre n des ordinateurs installés en Suisse.

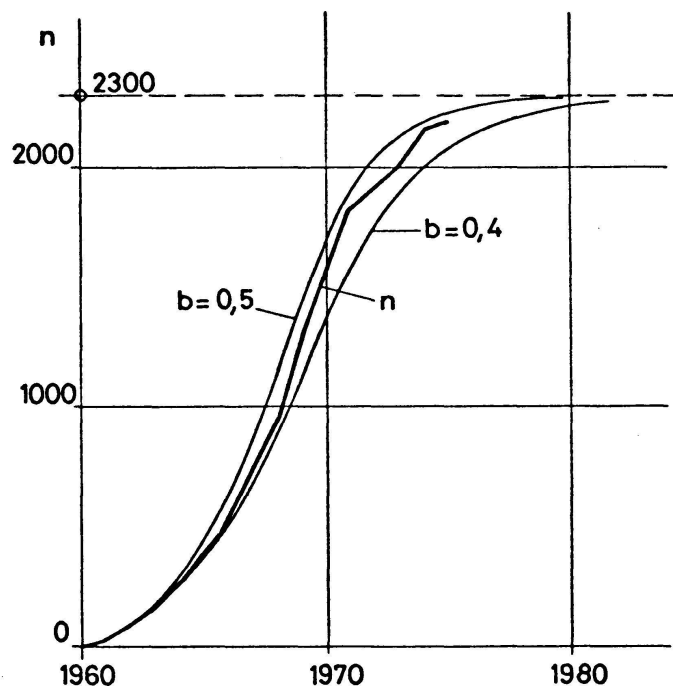


Fig. 4 Evolution du nombre $n(t)$ des ordinateurs installés en Suisse et approximation de cette évolution selon une courbe logistique avec $b = 0,4$ et $0,5$ et $n_{\max} = 2300$

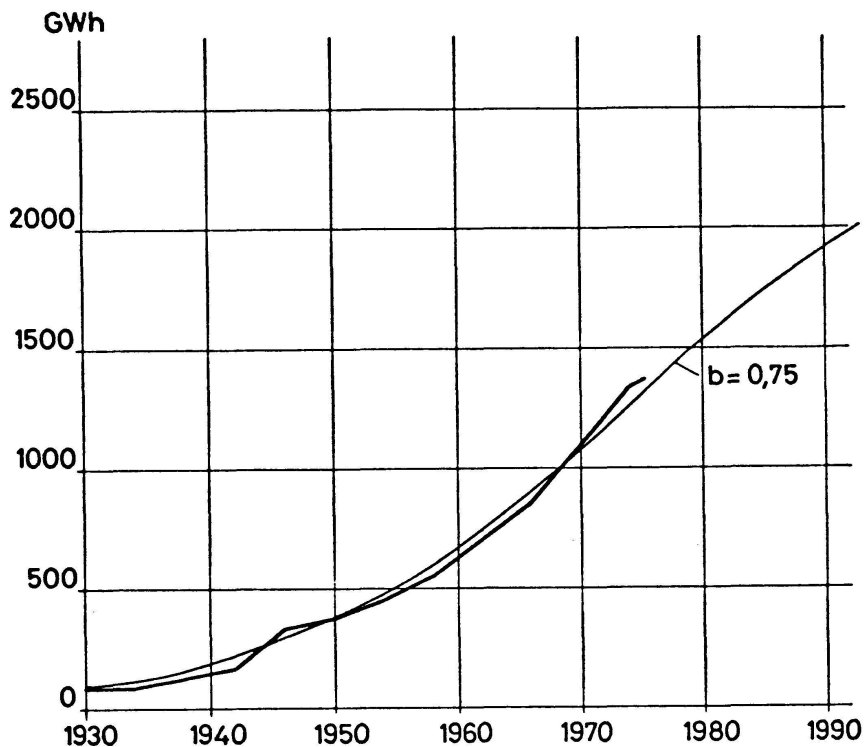


Fig. 5 Evolution de la consommation d'électricité du canton de Genève (très fort, CERN non compris) et approximation de cette évolution par une courbe logistique avec ($b = 0,75$) et $C_{\max} = 2500$ GWh

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'inflexion 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 transfer 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.

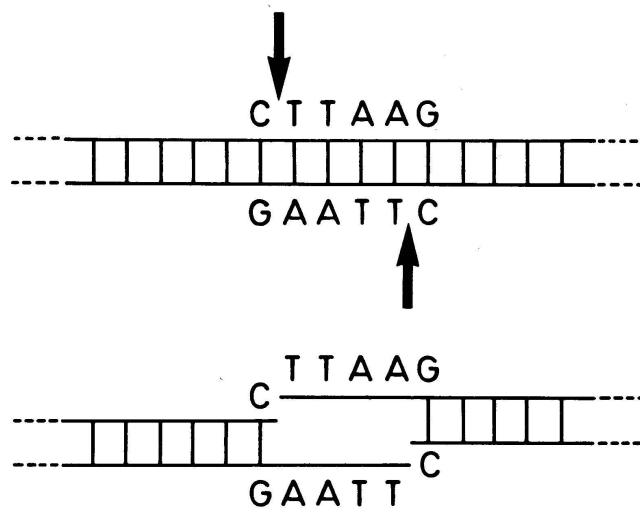
These segments result in the reaction, *in vitro*, of new genomes carrying and perpetuating genes belonging to another species. These developments have important implications for biological research as a whole, and in particular for the study of gene structure, function and regulation in the case of 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*

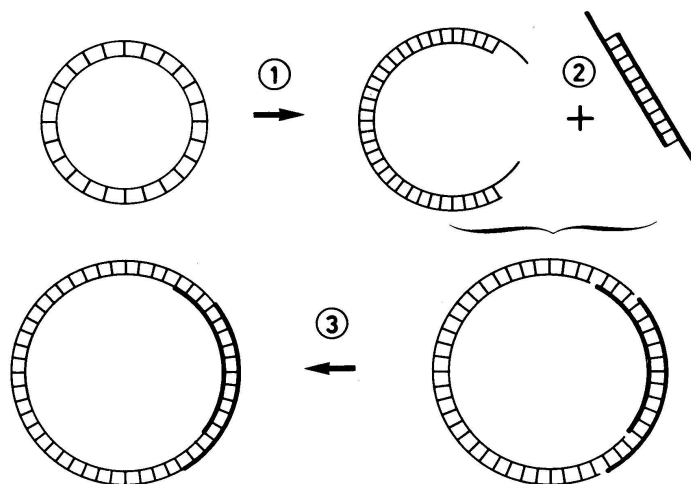
The first step in any of these experiments is to introduce a segment of DNA within a vector DNA molecule. This is achieved *in vitro* with a combination of biochemical reactions and it can be applied to any DNA molecules, whatever their source. The different molecules which are to be joined are first 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



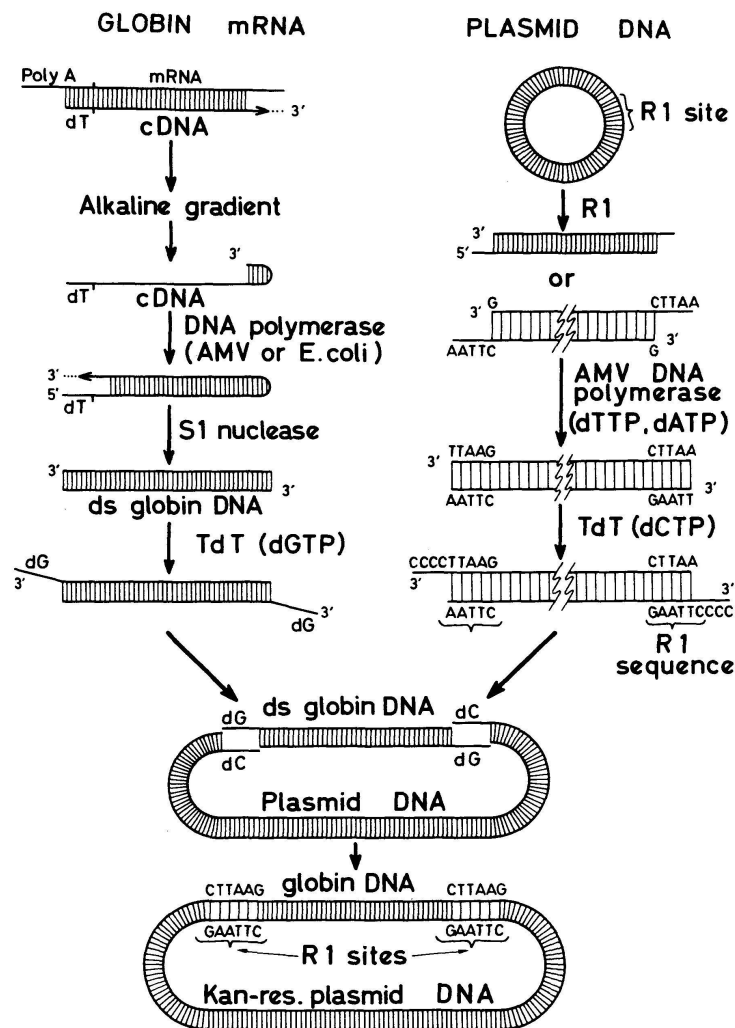
contains DNA, can function as normal phage or plasmid DNA and infect the host bacteria in which they will propagate. Great progress has been made in the past 2 or 3 years in the development of efficient vectors strains. These are derived from *E. coli* bacteriophage lambda and from plasmids of *E. coli*. 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 complex organisms such as mammals, an alternative procedure has been developed. 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 involved 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.

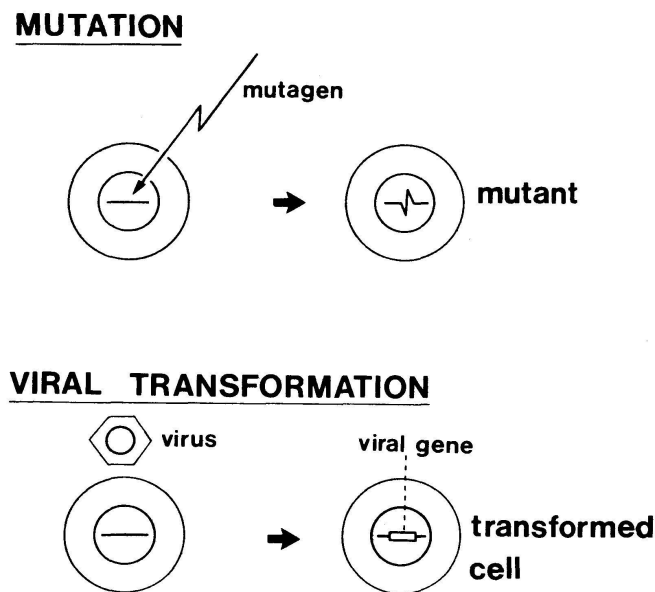


Fig. 1 Schematic illustration of mutation and viral transformation.

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

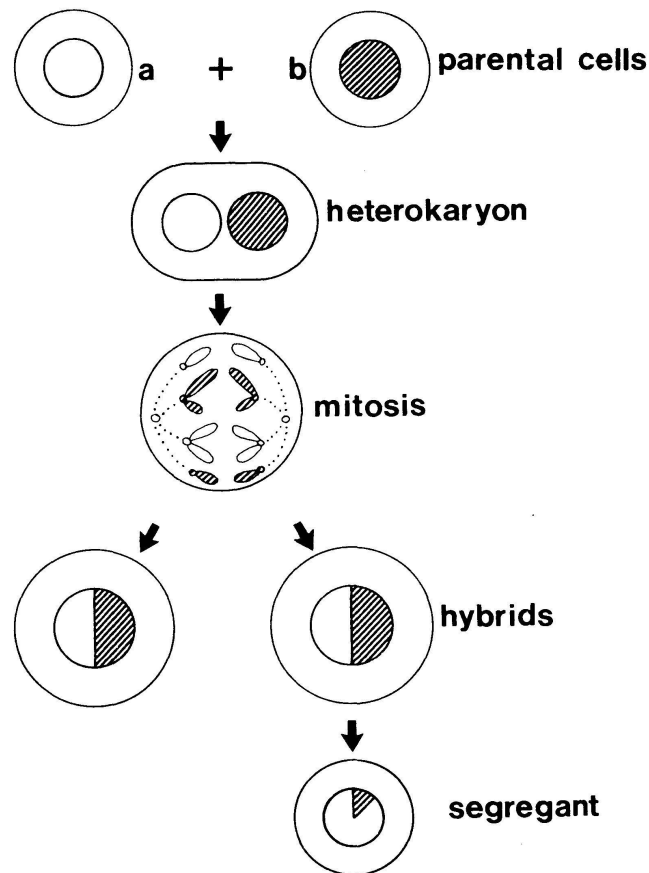


Fig. 2 Schematic summary of somatic cell hybridization. Fusion of two different cells, A and B results in a binucleate heterokaryon which in some cases divides to form two mononucleate hybrids (synkaryons) each of which contains a complete set of A and B chromosomes. If such hybrids are cultured over 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⁻) 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⁻). 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⁺ TK⁺) can survive if supplied with exogenous hypoxanthine and thymidine whereas the mutant cells die because of their inability to synthesize nucleotides from hypoxanthine (HGPRT⁻ cells) or from thymidine (TK⁻ cells). Hybrid cells formed from fusion of HGPRT⁻ with TK⁻ cells can be isolated by selection in a

medium containing Hypoxanthine, Aminopterin and Thymidine (HAT-medium). Hybrids contain one chromosome set which is HGPRT⁻ but TK⁺ and one that is HGPRT⁺ and TK⁻. 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

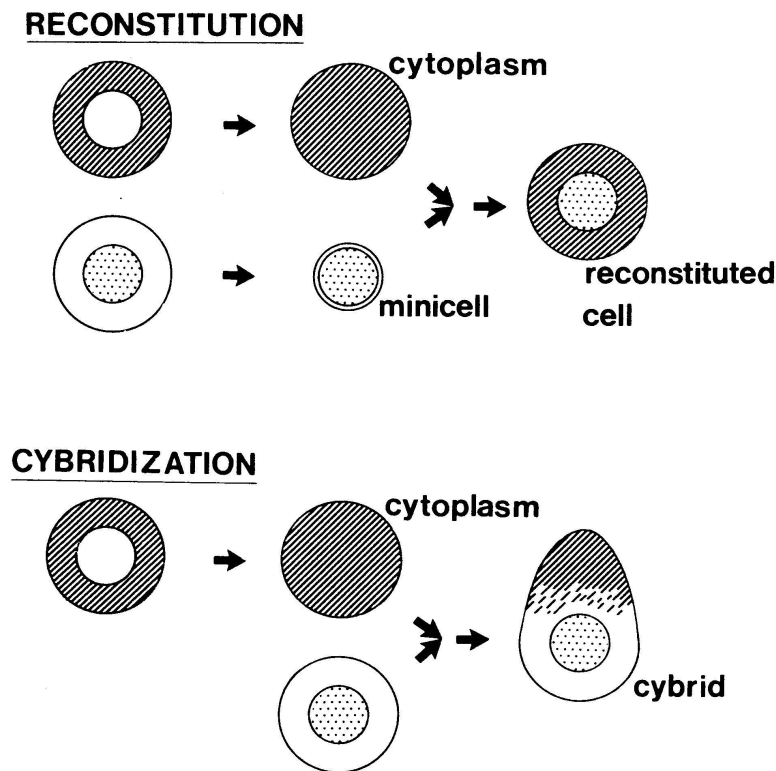


Fig. 3 Enucleation of cells by cytochalasin treatment and centrifugation of animal cells gives two types of cell fragments: nuclei (minicells) and cytoplasms. Both types of fragments are surrounded by an intact plasma membrane and may be fused to give a reconstituted cell. Viable cells may be reconstituted 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

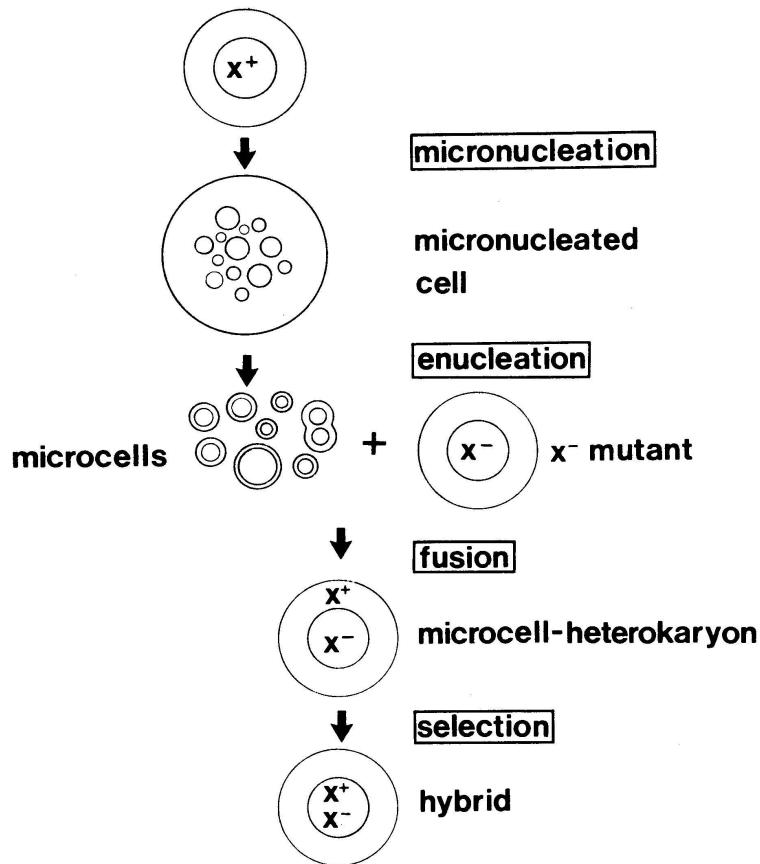


Fig. 4 Transfer of chromosome(s) from one cell to another by microcell fusion. Microcells are subdiploid miniature cells which are generated by first inducing micronucleation with microtubular poisons. Micronucleated cells are then enucleated to give microcells. The smallest microcells have a DNA content 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 Wissenschaftlern zur kritischen Auseinandersetzung einzuladen. Das Symposium sollte einen problemklärenden Beitrag leisten, vorallem zur Frage der Endlagerung in wasserundurchlässigen 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, Spaltstoffzyklisierung, Abfallbehandlung und Abfallagerung 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 m³ 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 Vortragsveranstaltung möchte ich mich hier abschliesslich 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 verbesserter 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 begehbaren Salzkavernen endzulagern, während die verfestigten hochaktiven Abfälle ihren endgültigen Platz in einem während der Betriebsphase begehbaren 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 anderen 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 m³ "Endprodukt" pro Jahr, HLW nach einer angemessenen Kühlzeit mit etwa 100 – 120 m³ 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 ausgesalzenen 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 härten 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. Radiotoxizität und die z.T. extrem langen Halbwertszeiten einiger α -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. Radiotoxizität, 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 Salzgesteinsformationen 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 Auslaugung 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 Radiotoxizität 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. wichtigsten 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

Rossel: 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.

Randl: 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 vorneherein 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 soucier 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 minerai, 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 préséchage 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 thermidurcissables 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'agite, 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 cela 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 minerai 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 Zäsium-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 Wirtgestein, 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 gross-technisch 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 Plutoniumisotopen, 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 Plutoniumoxid 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 Ausnützung 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 Gesteinsoberfläche 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 Präzisionsnivellement 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 Médiannes 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 Glaszylinder von 30 cm ϕ 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 Waadt-länder 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 ersoffen, 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 oberflächennahe, 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, Helliikon, 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 Oel 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 Alternations; 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 Grundwasserzirkulation 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, Erdbeben, Quellen unmittelbar bei der Bohrstelle) zeigen ein Beispiel. Ein anderes Beispiel: Stüblenen (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 Trichtern 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 Stübelen 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 Personendosis 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 nachgefragt 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 EA EW, 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 ist¹, 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.

¹) 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 Untertagesspeicherung 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.

C. Fachvorträge

Geophysik / Géophysique

1. M. Bouët (Le Mont): Sur la progression de l'air froid du Jura aux Alpes

Le passage des fronts froids en un lieu donné est de règle accompagné de pluie, comme on le sait; les fronts secs sont rares. Le début d'une pluie frontale peut être de ce fait assimilé en première approximation au passage du front lui-même, bien que les deux phénomènes ne soient pas absolument simultanés. A Lausanne, par exemple, le retard moyen de la pluie sur le passage frontal est d'environ trois quarts d'heure, et dix minutes seulement pour les grains orageux.

Une comparaison fut faite, portant sur 208 cas bien nets, des heures du début de la pluie à Lausanne et à Altdorf (pluviogrammes) lorsqu'il y avait changement de masse par front froid. Le délai moyen qui dans 96% des cas est un retard d'Altdorf sur Lausanne est de 2,8 h. L'air froid atteint donc en moyenne la Suisse centrale presque trois heures plus tard que le bassin lémanique, mais deux heures seulement si l'on fait abstraction des situations de foehn. Les valeurs extrêmes du retard dans cette série furent de 10 h (14.06.64) par vent du sud-ouest et front lent, de 11 h (9.02.68) par foehn et de 12,3 h (28.11.64) par situation de foehn. Ce dernier supprime complètement la pluie à Altdorf quatre fois sur dix.

Entre Lausanne et Coire, le retard moyen de la pluie s'accroît d'environ 1,3 h; une comparaison sommaire avec Delémont a donné par contre une avance de l'ordre d'une demi-heure sur Lausanne; enfin pour Sierre le retard est de 2,6 h. Ainsi les pluies frontales mettent deux à trois heures pour atteindre le Valais central et environ quatre à cinq heures en moyenne pour progresser du Jura aux Grisons lors des invasions froides. Ce délai est évidemment très variable d'un cas à l'autre: parfois nul, il peut croître, comme on l'a vu, jusqu'à plus de dix heures.

Le retard moyen pour les passages frontaux proprement dits est évidemment un peu plus court; j'avais précédemment calculé celui de Montreux à Sierre (1,3 h) et celui de Lausanne à Zurich (1,0 h). En tous cas ces données indiquent nettement que la plupart des accidents frontaux intéressent la Suisse romande en premier lieu et progressent plus ou moins vite vers le massif alpin; elles apportent sur ce point quelques précisions sur la valeur probable des délais.

2. W. Good und E.J. Langham (Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos; Glaciology Division, Water Resources Branche, Inland Waters Directorate, Ottawa, Canada): Erkennung und Parametrisierung geometrischer Strukturen von ERTS/LANDSAT Bildern

1. Einleitung

Die heute zur Verfügung stehenden Mittel und Daten der Fernerkundung gestatten Fragestellungen der angewandten Erdwissenschaften aufzugreifen, die bis anhin kaum lösbar schienen.

So können Verteilungen von Wasser, Wald, Schnee, Eis, Kulturland und Siedlungsgebieten und deren Formen untersucht werden. 1) Die vorliegende Arbeit benützt digitales Bildmaterial von LANDSAT (der Name ERTS, Earth Resources Technology Satellite, wurde am 13.1.1976 in LANDSAT abgeändert) und eine Methode der numerischen Mustererkennung zur Diskriminierung zwischen Gebieten mit und ohne Wasser. Wasserflächen werden nach geometrischen Kriterien parametrisiert. Ein Satz charakteristischer Parameter beschreibt jedes einzelne Bild (Subframe). Mit Hilfe der Faktor-, Cluster- und Diskriminationsanalyse werden Bilder mit ähnlichen Parametern aufgesucht (numerische Klassifizierung) und die wichtigsten Klassenmerkmale ermittelt.

2. LANDSAT Daten

2.1 Technische Angaben von LANDSAT 11 2)

Flughöhe 905 km

Umlauf Sonnensynchron

Zeit zwischen 2 Bildern 18 Tage

Fläche pro Bild 100 x 100 (naut. Seemeilen)²

Auflösung ca. 100 m

2.2 Spektralbereiche

2.2.1 Return Beam Vidicon camera System (RBV)

Band 1 0.475 – 0.575 micrometer (μm)

Band 2 0.580 – 0.680 micrometer

Band 3 0.698 – 0.830 micrometer

2.2.2 Multispectral scanner (MSS)

Band 4 0.50 – 0.60 micrometer (μm)

Band 5 0.60 – 0.70 micrometer

Band 6 0.70 – 0.80 micrometer

Band 7 0.80 – 1.10 micrometer

2.3 Optimale Diskrimination

Für jedes Problem gibt es eine oder mehrere Wellenlängen, die eine gute Unterscheidung erlauben:

Band 4 hat die grösste Eindringtiefe in Wasser und lässt dessen Trübung messen. Zudem weist dieser Wellenbereich die beste Rückstrahlung von trockenem und nassem Schnee auf.

- Band 5 erlaubt eine gute Identifizierung von Strassen sowie von Vegetationstypen.
- Band 6 gute Diskrimination Wasser/Land, geeignet zur morphologischen Untersuchung von Flussläufen.
- Band 7 geringste Eindringtiefe in Wasser, deshalb optimale Diskriminierung Land/Wasser. Starke Rückstrahlung von trockenem, geringere von nassem Schnee.

3. Formerkennung (Pattern recognition)

3.1 Merkmalsdefinition

Jeder Messpunkt besteht aus 3 RBV und 4 MSS Werten. Das Intensitätsintervall $I_{\min}(0) \leq I \leq I_{\max}(6)$ im Spektralband 7 entspricht dem verwendeten Merkmal. Dem primären Merkmal I (Intensität) kann somit ein sekundäres Merkmal M (Wasser) zugeordnet werden.

3.2 Homogene Rasterpunkte

Homogene Rasterpunkte haben in ihrer nächsten Umgebung 4 Nachbarpunkte, die sich bezüglich Merkmalwert um weniger als einen vorgegebenen Betrag ($\Delta I \leq \epsilon$) unterscheiden.

3.3 Gebiet und Rand

Das Innere eines Gebietes ist eine zusammenhängende Menge von homogenen Punkten. Der Rand ist eine Kette der dieser Menge am nächsten gelegenen, nicht homogenen Punkte.

3.4 Abschnitt

Das Formerkennungsprogramm M3STER.FTN 3) kann in seiner jetzigen Version ca. 10'000 Punkte im Kernspeicher haben. Die Verarbeitung eines Bildes mit mehr Rasterpunkten (z.B. 600 x 600) hat deshalb abschnittsweise zu erfolgen. Mit der minimalen Zeilenzahl von 3 (eine obere und untere Ueberlappungszeile, 1 Arbeitszeile) könnte eine Zeile demzufolge ca. 3'300 Punkte aufweisen.

3.5 Operationeller Aufbau des Randes

Das Bild der homogenen Gebiete wird ein erstes Mal zeilenweise abgetastet und der erste, nicht homogene Punkt bestimmt (erster Randpunkt). Vom letzten inneren, homogenen Punkt werden im Bereich der 8 nächsten Nachbarn weitere Randpunkte ermittelt. Nach Durchlaufen einer Zeile kommt die folgende an die Reihe.

4. Parametrisierung der berandeten Gebiete

Nun wird das Bild der homogenen, berandeten Gebiete zeilenweise abgetastet und beim Durchlaufen des Randes der Schwerpunktsvektor

$\bar{S} = \iint (x_1, x_2) dx_1 dx_2$ und der zweidimensionale Trägheitstensor

$\theta_{ik} = \iint (\delta_{ik} (x_1^2 + x_2^2) - x_i x_k) dx_1 dx_2$ gebildet.

GRUPPE							GRUPPENZUGEHÖRIGKEIT UND AUSWAHL DER BENÜTZTEN PARAMETER	
1	2	3	4	5	6	7		
	●						1	PUNKTDICHTE
	●						2	MITTLERER GEBIETSDURCHMESSER
						●	3	MITTLERE FREIE WEGLAENGE
●			○				4	MITTLERER KONKAVER RADIUS DER BERANDUNGSKURVE
○			●	●			5	MITTLERER KONVEXER RADIUS DER BERANDUNGSKURVE
						●	6	MITTLERER WINKEL ZWISCHEN LABORKOORDINATENSYSTEM UND HAUPTACHSENSYSTEM DES TRÄGHEITSTENSORS
	●						7	VARIANZ
●							8	VERHÄLTNISS DER HAUPTACHSEN DES TRÄGHEITSTENSORS
	○	●					9	VARIANZ
●	○						10	MITTLERE ELLIPTIZITÄT
	○	●	●	●			11	VARIANZ
			○	●	●		12	MITTLERE GEBIETSELÄNGE
		●	●		○		13	VARIANZ
			○	●			14	MITTLERE BERANDUNGSLÄNGE
	●						15	VARIANZ
						●	16	MITTLERE INTENSITÄT DER GEBIETE
		○	●				17	VARIANZ
	●						18	RELATIVE VARIANZ DER GEBIETSINTENSITÄT
●	○						19	VARIANZ
			○	●			20	MITTLERE KONVEXITÄT DER GEBIETE
			○	●			21	VARIANZ

SLF
ZNo 4-1385

Tabelle 1 Gruppenzugehörigkeit und Auswahl der benützten Parameter.

Beim Uebergang vom Rand- zum Abschnitt- und Gebietskoordinatensystem sind verschiedene Koordinatentransformationen auszuführen.

Weitere Parameter werden direkt oder mit Hilfe der ersten beiden bestimmt. Für jedes verarbeitete Bild (Individuum j) entsteht so ein Satz von 32 Grössen x_{jk} ($k = 1, \dots, 32$). Die nicht koordinatenfreien Parameter und diejenigen, die in irgend einer Form die Gebietszahl enthalten, wurden zugunsten der formbeschreibenden Parameter eliminiert. Die verbleibenden 21 Parameter (siehe Tab. 1) sind teilweise linear abhängig; Punktdichte P , mittlerer Gebietsdurchmesser D und freie Weglänge A z.B. sind offensichtlich miteinander korreliert. Die 21 Basisvektoren des Zustandsvektors X_j des Individuums j , sind die Erwartungswerte \hat{x}_k der p Parameter x_{jk}

($j = 1, \dots, N$). Sie sind weder orthogonal noch normiert, weshalb Abstände in einem p -dimensionalen Vektorraum keine einfachen Funktionen der Komponenten des Zustandsvektors sind.

5. Mathematische Behandlung

5.1 Wahl eines optimalen Koordinatensystems

Es liegt nahe, den Abstand zwischen 2 Endpunkten der Ortsvektoren (Zustandsvektoren) X_i, X_k zu betrachten. Dieser sollte ein Mass für den Unterschied der beiden Individuen darstellen. Die allgemeine Abstandsformel

$$d^2(q_i, q_k) = \sum_{i,k} m_{ik} dq_i dq_k$$

und die zusätzliche Bedingung der Dreiecksungleichung definieren einen metrischen Tensor $M = m_{ik}$. Für den Spezialfall eines cartesischen Koordinatensystems wird $M = I$ (Einheitstensor, $m_{ik} = \delta_{ik}$).

5.2 Faktoranalyse

Es kann gezeigt werden 4), 5), dass eine Lösung des Eigenwertproblems

$$u^{-1} P^T P u = \Lambda$$

existiert und diese ein optimales, orthonormiertes Koordinatensystem liefert, das die folgenden Eigenschaften aufweist:

- u_i sind die Eigenvektoren zu den Eigenwerten λ_i
- Die Komponenten von u_i sind Linearkombinationen der Erwartungswerte \hat{x}_k der Parameter x_{jk} .
- Die Elemente der Matrix P sind:

$$P_{jk} = \frac{x_{jk} - \bar{x}_k}{\delta_{x_k}}$$

- $P^T P$ ist die Korrelationsmatrix.
- Der erste Eigenvektor ist so gewählt, dass die Quadratsumme der darauf projizierten Zustandsvektoren der Individuen maximal ist (maximale Dispersion).
- Durch verschiedene Skalierung der Achsen (Faktoren) können unterschiedliche Abstandsverhältnisse sichtbar gemacht werden.
- Individuen und Parameter lassen sich in diesen Koordinatensystemen darstellen.

6. Formerkennung II

6.1 Clusteranalyse

Nun wird versucht, mit einem Abstandskriterium die Frage zu beantworten, ob sich eine "natürliche" Häufung von Individuen in wenige Gruppen

(Clusters) anbietet. Dieses Abstandskriterium, d^2 ist die Quadratsumme der Abstände der Gruppenindividuen zum Gruppenschwerpunkt

$$d_G^2 = \sum_{j=1}^{N_G} \Delta^2 (P_j, P_s)$$

Die beste (natürliche) Gruppenbildung ist dann erreicht, wenn die Zielfunktion Z minimal wird (6).

$$Z = \sum d_G^2 = \min.$$

Z hängt nicht nur von der Zahl der Cluster, sondern auch von der Anfangspartition, das heisst von der ursprünglichen Zuweisung der Individuen in die einzelnen Cluster ab. Durch iterativen Einsatz des Clusteralgorithmus KMEANS 6) bezüglich Anfangspartitionen und Clusterzahl wurde versucht, diesem Umstand Rechnung zu tragen. Die Anfangspartitionen werden durch einen Zufallszahlengenerator bestimmt und von den relativen Minima von Z wird nur das kleinste abgespeichert (Minimalkonfiguration). Es zeigt sich, dass bestimmte Individuen praktisch unabhängig von Clusterzahl und Anfangspartition immer wieder zusammengruppiert werden. Diese stabilen Individuen bilden natürliche Gruppen (Strong pattern), K, GN, GS, ... LN in Tabelle 2.

Eine weitere Möglichkeit die Gruppenzuweisung zu überprüfen, wurde durch verschiedene Normierung der orthogonalen Achsen benutzt. In den definitiven, natürlichen Gruppen wurde der Durchschnitt der Individuen aus obigen Verfahren belassen.

$$I_{ij} = I_{ik} (B_1) \cap I_{il} (B_2) \cap \dots$$

I_{ij} Individuen der definitiven, natürlichen Gruppe i

$I_{ik} (B_1)$ Individuen der natürlichen Gruppe i mit den Bedingungen B_1

6.2 Diskriminationsanalyse

Die definitiven, natürlichen Gruppen, ohne lose gebundene Individuen, weisen geringe Parameterstreuungen auf. Für jede Gruppe wurde eine Diskriminationsfunktion F_i und die Koeffizienten c_{ik} für die k Parameter bestimmt 4), 7).

Auf diese Weise lassen sich die übrigen Individuen in eine der definitiven Gruppen zuweisen (1, 2, 7 der Tabelle 2) und der Verwandtschaftsgrad zu den andern Gruppen wird ersichtlich.

6.3 Klassierung neuer Individuen

Die Koordinaten des Zustandsvektors des zu klassierenden Individuums werden zentriert und gewichtet

$$X_i \rightarrow P_i \left(\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\delta_{x_1}}, \frac{x_{i2} - \bar{x}_2}{\delta_{x_2}}, \dots \right)$$

Der transformierte Zustandsvektor P_i wird auf die bestehenden Eigenvektoren projiziert.

IDENTIFICATION	SUBFRAME	SUBFRAME (600 × 600 PIXEL)					TAPE #	FRAME	GROUPS
		1	2	3	4	5			
PICTURE CENTRE : 24-13 / 67 N, 72 W DATE, CLOUDINESS : 29-07-74, 10% <u>"KOUKDJUAK"</u>	1	/	/	I	/	/	5147	1736 - 15482	1K
	2	/	2	K	/	/			
	3	/	K	K	2	/	5155		
	4	/	I	K	7,1	2,7			

PICTURE CENTRE : 20-22 / 54 N, 76 W DATE, CLOUDINESS : 25-07-74, 0% <u>"GRDE RIVIERE"</u>	1	GN	2	2	GN	GN	5149	1732 - 15292	2GN
	2	/	2	2	2,3	GN			
	3	GN	GN	GS	/	2,3	5150		3GS
	4	3	GS	GS	GS	2			

PICTURE CENTRE : 19-24 / 51 N, 76 W DATE, CLOUDINESS : 11-08-74, 1% <u>"RUPERT RIVER"</u>	1	R I	R I	R I	R I	R 3	5156	1749 - 15235	4R I
	2	6	R 3	R 3	R 2	R 2			
	3	R I	/	2,3	2,3	2,3	5148		6R 3
	4	R 2	R 2	4	3	/			

14-27 / 47 N, 71 W 24-07-73, 30% <u>"LAURENTIDES"</u>	1	LN	LN	LN	LN	7,2	4443	1366 - 15052	7LN
	2	LN	LN	LN	LN	7,2			

SLF
ZNo.3-0486

"STABLE
"ATTRIBUTED } INDIVIDUALS " { (K)
(1)

Tabelle 2 Frame- und Subframeinformationen und Gruppeneinteilung.

$$\begin{array}{c} 1 \quad p \\ \boxed{} \\ P_i \end{array} \quad \begin{array}{c} 1 \quad k \\ \boxed{U} \\ p \end{array} = \begin{array}{c} 1 \quad k \\ \boxed{} \\ Q_i \end{array}$$

Gemäss 6.2 wird mit den vorher bestimmten Funktionen und Koeffizienten das Individuum (Q_i) in eine der definitiven, natürlichen Gruppen zugewiesen.

7. Numerische Berechnungen

Die nachstehende Tabelle gibt Auskunft über die benutzten Programme und Subroutinen und die ausgeführten Berechnungen. Die Kosten für 1 Bild (Subframe 600 x 600 Bildpunkte) gemäss der folgenden Zusammenstellung betragen ca. SFr. 300.—.

Name	Maschine	Bibliothek	Berechnung
TAPRED	CDC 6000	SLF	Extraktion von Kanal und Bild
M3STER	CDC 6000	SLF	Formerkennung + Parametrisierung
M. FAC	PDP 11/45	SLF	Faktoranalyse
Subr.: CORRE		IBM/dec 8), 9)	
EIGEN		IBM/dec	
TRACE		IBM/dec	
LOAD		IBM/dec	
FACT		SLF	
MCLUST	PDP 11/45	SLF	Clusteranalyse
Subr.: KMEANS		SLF 6)	
MDISCR	PDP 11/45	SLF	Diskriminationsanalyse
Subr.: DMATX		IBM/dec	
MINV		IBM/dec	
DISCR		IBM/dec	
MGRPFL	PDP 11/45	SLF	Zuweisung neuer Individuen

Tabelle 3 Zusammenstellung der numerischen Berechnungen.

8. Diskussion der Resultate

8.1 Geographische Angaben

In der vorliegenden Arbeit wurden vier Gegenden aus Kanada so ausgesucht, dass möglichst verschiedene Seentypen miteinander verglichen werden konnten.

Jedes Gesamtgebiet (frame) wurde in 20 Bilder (Subframes) unterteilt. Die nicht verarbeiteten Bilder sind auf der Tab. 2 durchgestrichen. In derselben Tabelle sind auch Angaben über Bildzentrum, Aufnahmedatum und -Bedingungen zu finden.

8.1.1 Koukdjuak River

Der Koukdjuak River verbindet das Foxe Basin mit dem Nettling Lake auf Baffin Island. Die Great Plain of the Koukdjuak ist gekennzeichnet durch eine grosse Anzahl zum Teil kreisrunder Seen (Abb. 1).

8.1.2 Grande Rivière

Dieses Flusssystem besitzt sein Einzugsgebiet östlich des Ueberganges der James Bay in die Hudson Bay und ist sehr fein gegliedert (Abb. 2).

8.1.3 Rupert River

Der Rupert River mündet in die James Bay an ihrem Südeinde ein. Verglichen mit 8.1.2 ist dieses Flussnetz weitmaschig und nur sehr grob gegliedert.

8.1.4 Laurentides

Dieses Gebiet liegt zwischen dem oberen Ende des St. Lawrence Trichters und dem Lake St. Jean am Saguenay River (Abb. 3).

8.2 Natürliche Gruppen

Die natürlichen Gruppen sind aus den stabilen und den zugewiesenen Individuen oder Bilder zusammengesetzt (Tab. 2).

Interessant ist die Feststellung, dass z.B. die Bilder Koukdjuak (2,2) und Koukdjuak (3,4) mehr gemein haben mit den ca. 2'000 km südlicher gelegenen Individuen Grande Rivière (1,1) und Grande Rivière (1,2) als mit ihren nächsten Nachbarn.

8.3 Orientierung der Seen

Von den berechneten Parametern sei einer etwas näher erläutert:

Der Parameter Nr. 6 (Tab. 1) ist der mittlere Winkel zwischen der längeren Hauptachse des Trägheitstensors und der X_1 Richtung des Laborkoordinatensystems. Die Dichtefunktionen sind in Abb. 4 und die Summenkurven in Abb. 5 dargestellt. Da die Flugbahn von LANDSAT nicht genau N-S verläuft – sie schneidet die Längengrade in der Bildmitte von Koukdjuak unter 26° , von Laurentides unter 16° – sind diese Werte von den Zahlen beider Darstellungen zu subtrahieren, um den Winkel zur W-E-Richtung zu erhalten:

Mit Ausnahme der Seen des Gebietes Laurentides, weichen alle anderen, zum Teil erheblich, von einer Zufallsverteilung – entsprechend der Diagonale in Abb. 5 – ab. Das scharfe Maximum zwischen 10 und 20° bildet sich bei der Gruppe R 1 zurück, es erscheint ein Nebenmaximum bei 40° , das für R 2 zum Hauptmaximum wird (Abb. 4).

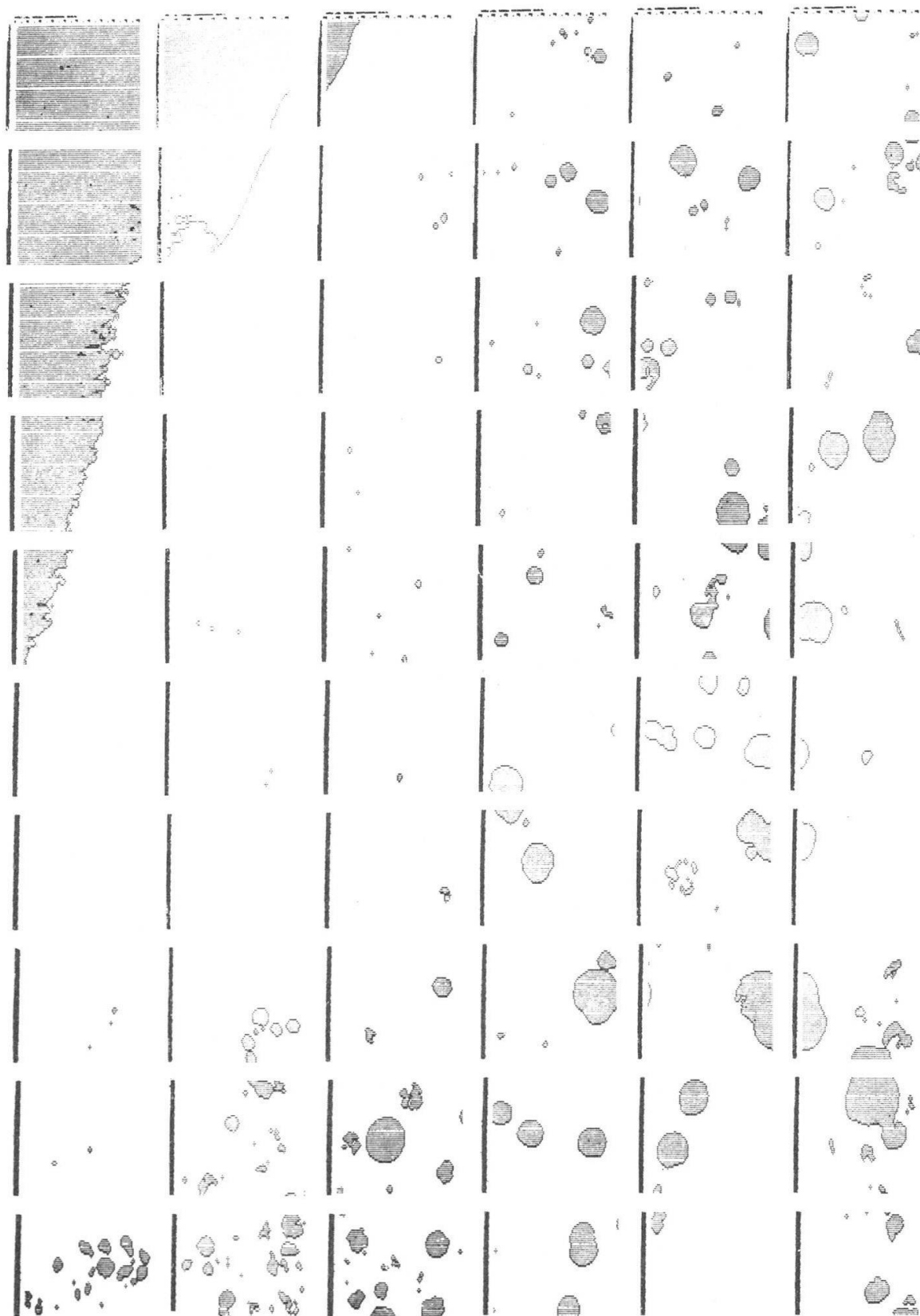


Abb. 1 Repräsentatives Individuum der Gruppe Koukdjuak ($_1K$).

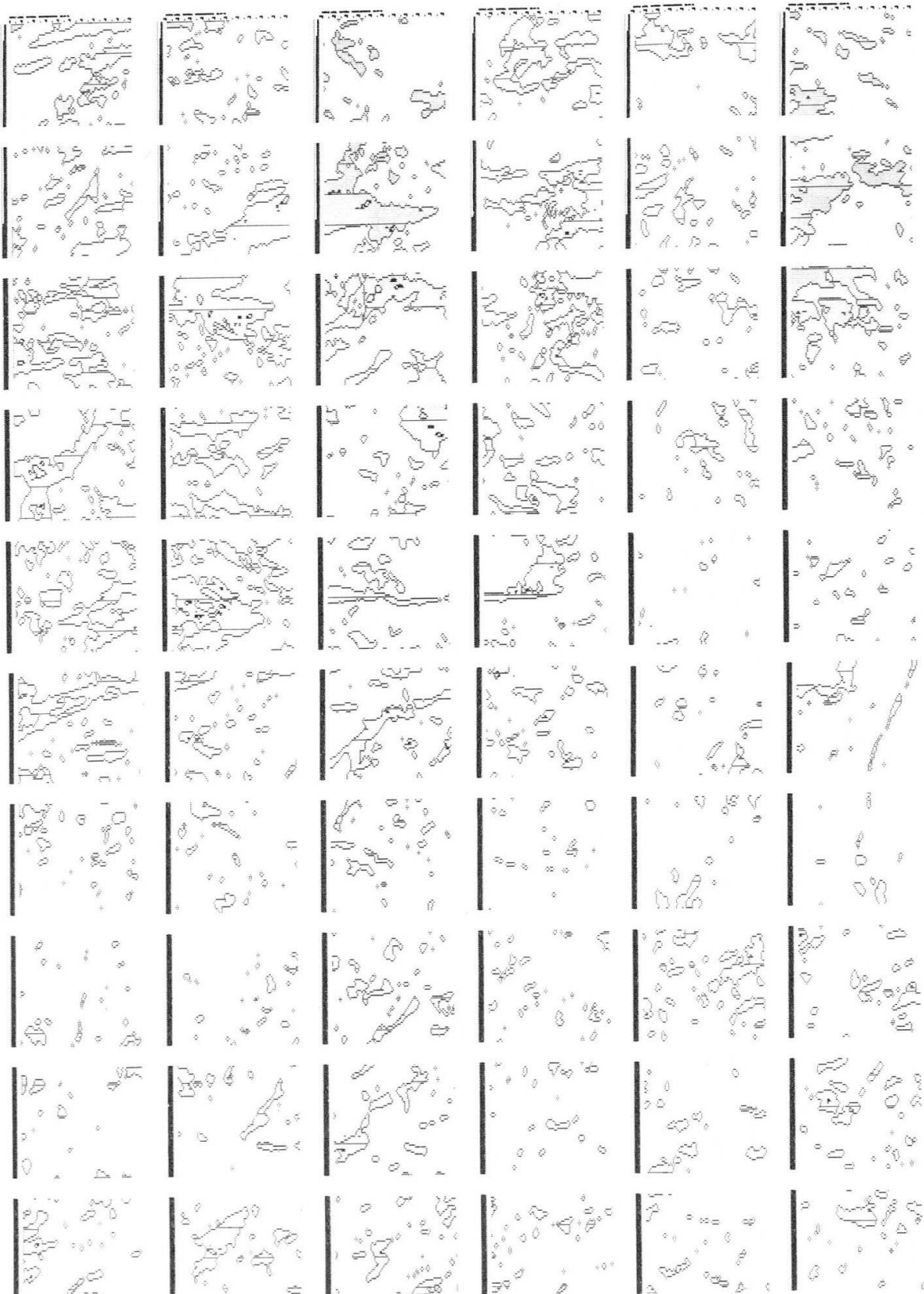


Abb. 2 Repräsentatives Individuum der Gruppe Grande Rivière Nord ($_2$ GN).

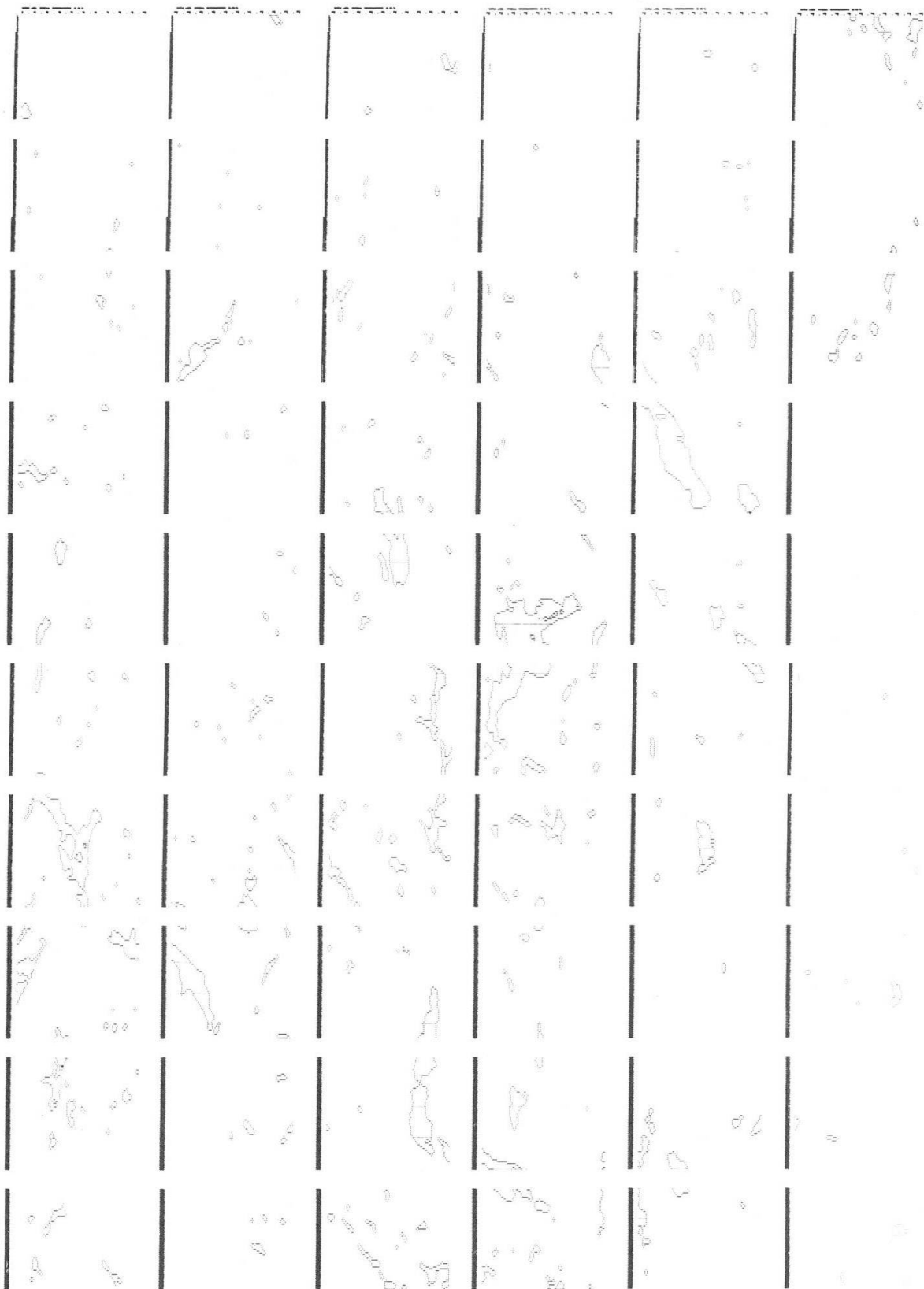


Abb. 3 Repräsentatives Individuum der Gruppe Laurentides (7LN).

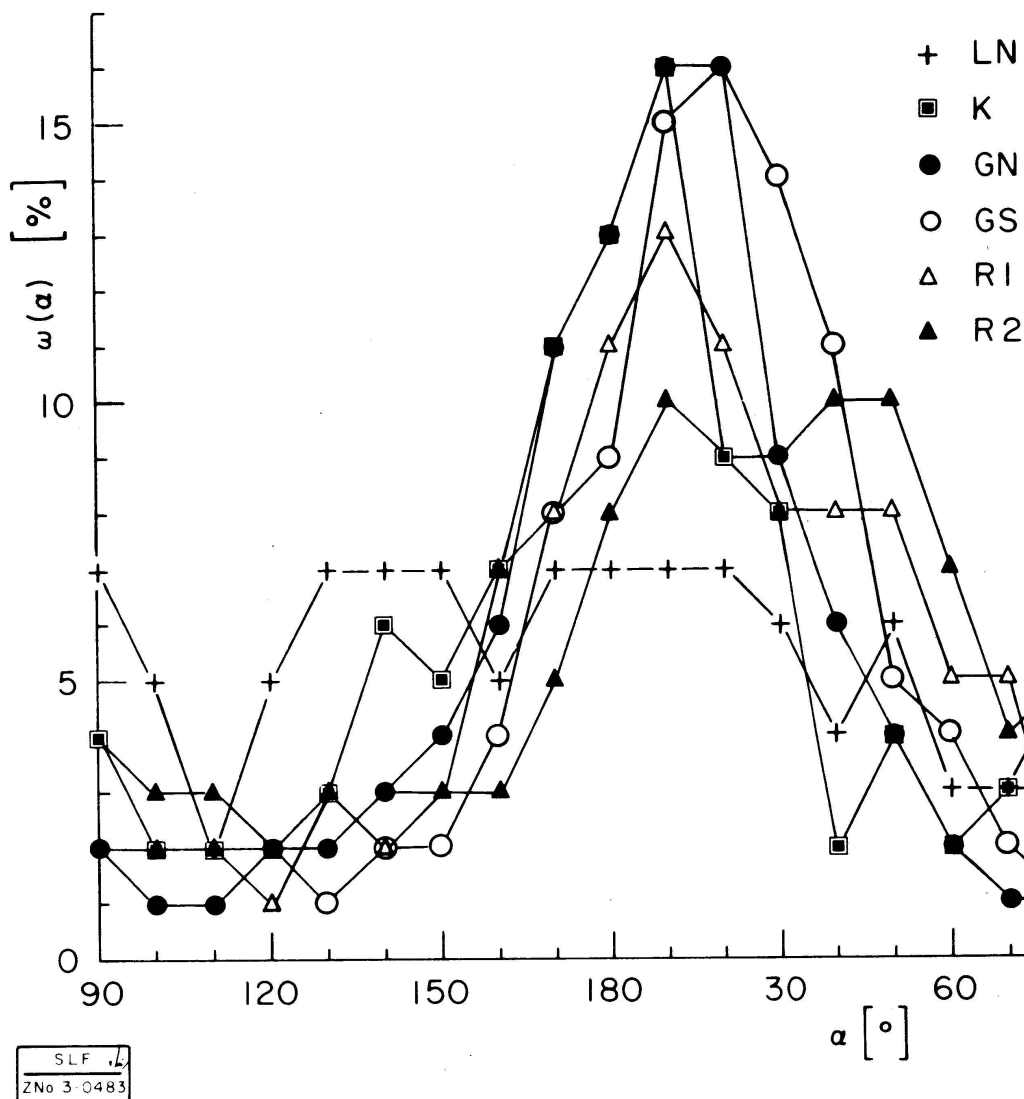


Abb. 4 Ausrichtung der Gebiete. $\alpha = \angle$ (Trägheitsmoment I_1 , Scanrichtung).

8.4 Gruppeneinteilung in der Faktordarstellung

In Abb. 3 ist die erste Hauptebe (F_1 , F_2) mit den 38 stabilen Individuen und den Schwerpunkten der natürlichen Gruppen dargestellt. Die wichtigsten Komponenten des Faktors F_1 , die Parameter Berandungslänge c , die Varianz von c und die Gebietsfläche a , sind negativ korreliert. Also liegen Individuen, deren Gebiete gleichmässig klein sind und eine einfache Berandung aufweisen, im ersten oder vierten Quadranten (Koukdjuak, Abb. 1 und Laurentides, Abb. 3).

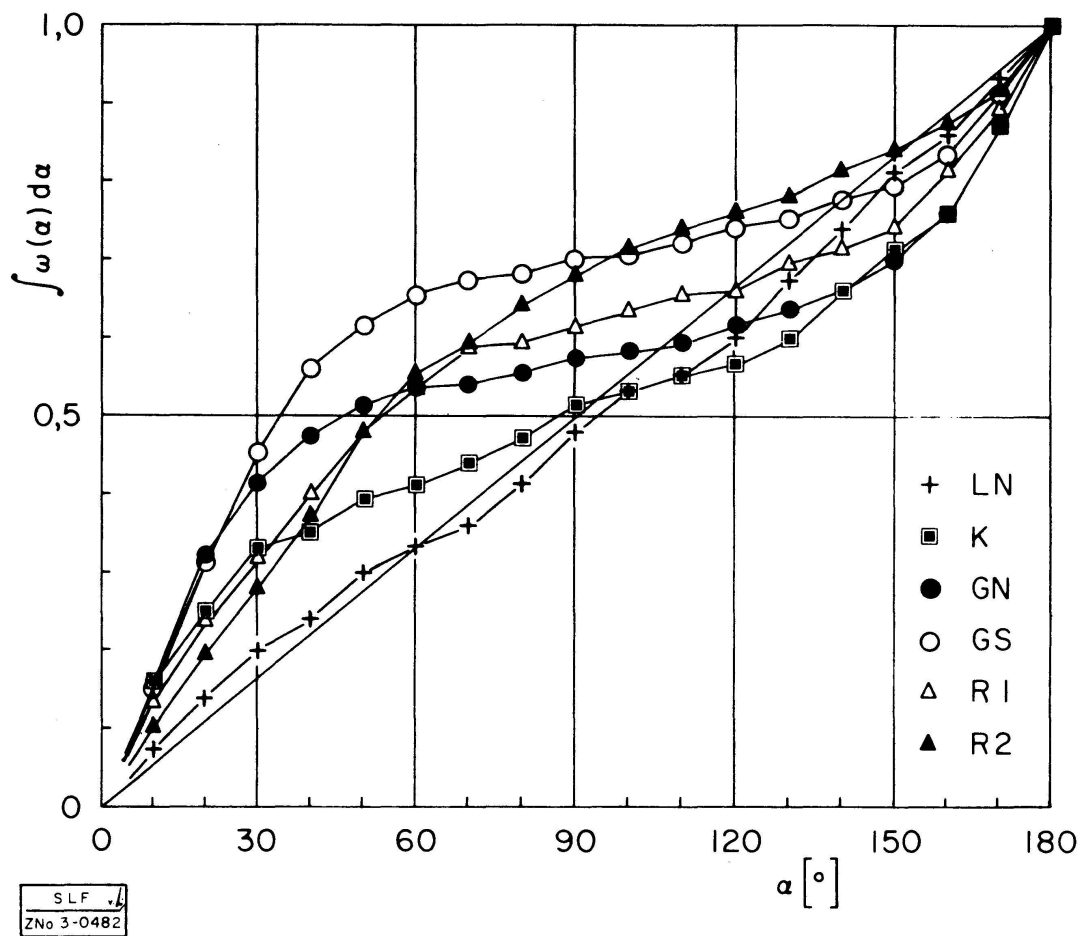


Abb. 5 Abweichung der Ausrichtung der Gebiete von einer Zufallsverteilung.

Die Achse F_2 ist positiv mit der freien Weglänge A korreliert. Die Individuen der Gruppe Grande Rivière Nord, mit der sehr grossen Anzahl Seen und den kleinen Abständen zwischen ihnen, und ihr Schwerpunkt, sind deshalb in der unteren Halbebene anzutreffen.

In ähnlicher Weise lassen sich in den anderen Hauptebenen interessante Zusammenhänge aufzeigen. Die Berechnungen wurden mit 6 Faktoren durchgeführt, was einer Beschränkung auf 80% der totalen Information entspricht.

8.5 Parameter und Gruppen

Nicht nur die weniger eindeutig zu den einzelnen Gruppen gehörenden Individuen lassen sich mittels Diskriminations-Funktionen und Koeffizienten zuweisen, auch die Parameter gehören zu gewissen Gruppen und charakterisieren diese. Tab. 1 gibt die Beeinflussung der Gruppen durch die 21 Parameter und ihrer Grösse ($\bullet > 0 > \cdot$). So charakterisiert die Punktdichte beispielsweise vor allem die Gruppe 2 (GN).

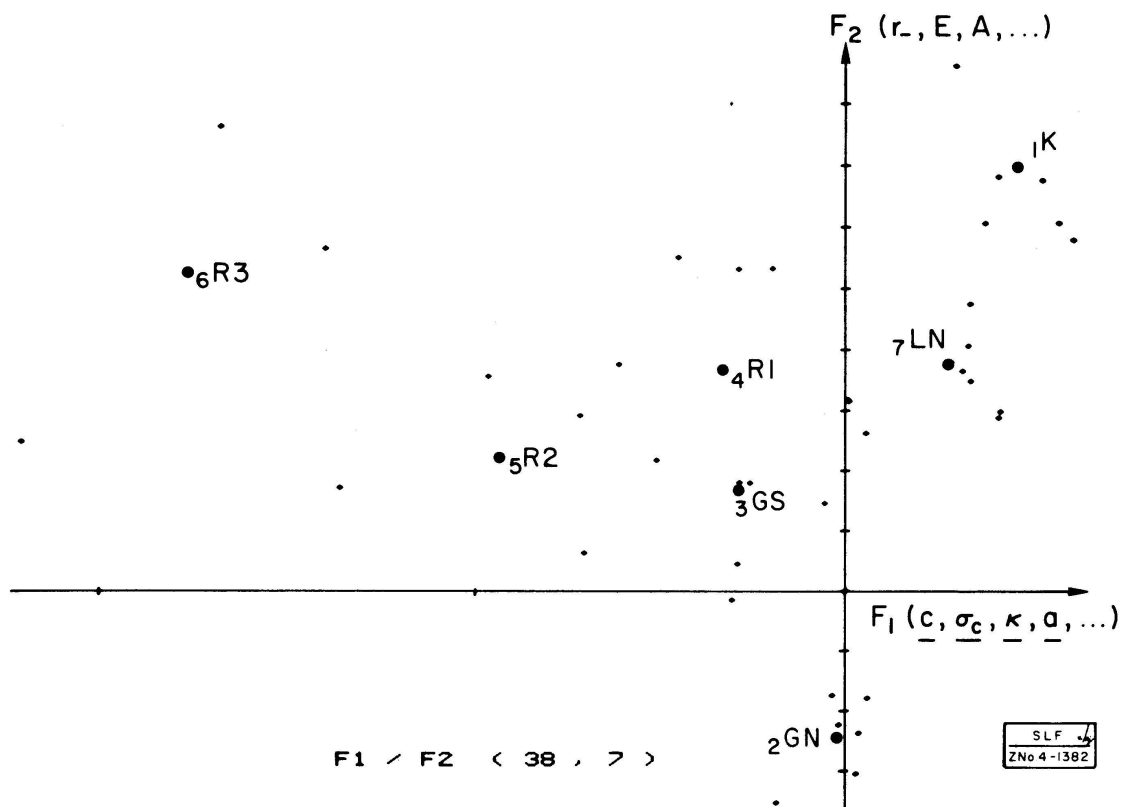


Abb. 6 Stabile Individuen und natürliche Gruppen in der ersten Hauptebene.

9. Ausblick

Die hier skizzierte und am Beispiel von LANDSAT-Daten erläuterte Methode der Erkennung, Parametrisierung und Darstellung relevanter Strukturinformation scheint allgemein anwendbar zu sein.

Sie wurde beispielsweise schon eingesetzt um Gefüge- (Schnee) Schnitte zu charakterisieren und diese mit mechanischen Messwerten zu verknüpfen. 10)

Der beschriebene Analysegang will keine endgültigen Resultate vorweisen. Vielmehr sollen diese Angaben dem Interpretator (Geograph, Geomorphologe, Hydrologe,) die Beantwortung seiner spezifischen Fragestellungen erleichtern.

Wir danken dem Canadian Centre for Remote Sensing, Ottawa für die Ueberlassung der Datenbänder und der LANDSAT-Informationen, sowie dem Rechenzentrum der ETH, Zürich für die zur Verfügung gestellte Rechenzeit.

Literaturangaben

- 1) Fürbringer W. und Haydn R. 1974. Zur Frage der Orientierung nordalaskischer Seen mit Hilfe des Satellitenbildes. *Polarforschung*, **44**, p. 47 - 53.
Gfeller R.E. 1975. Untersuchungen zur automatisierten Schneeflächenbestimmung mit Multispektralaufnahmen des Erderkundungssatelliten ERTS-1. Dissertation, Universität Zürich.
Lee D.R. und Sallee G.T. 1970. A Method of Measuring Shape. *The Geographical Review*, **60**, 4, p. 555 - 563.
Seidel K. 1976. Digitale Bildverarbeitung. Technischer Bericht, Photographisches Institut der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.
- 2) 1975. General LANDSAT Information Kit. Canadian Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada.
- 3) Crettol R. und Good W. 1974. MSTER- Ein Programm zur Bestimmung von strukturellen Parametern mittels Computer - kompatibeln Abbildungen von Schneedünnschnitten. Interner Bericht No. 536. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos.
- 4) Cooley W.W. und Lohnes P.R. 1971. *Multivariate Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- 5) Lebart L. und Fenelon J.P. 1973. *Statistique et Informatique Appliquées*. 2ème édition, Dunod, Paris.
- 6) Späth H. 1975. *Cluster-Analyse-Algorithmen*. R. Oldenbourg Verlag, München.
- 7) Romeder J.-M. 1973. *Méthodes et Programmes d'Analyse Discriminante*. Dunod, Paris.
- 8) 1970. IBM System/360 Scientific Subroutine Package. Version III. 5th edition. IBM Corporation, Technical Publications Department, New York.
- 9) 1973. dec-11-SSP Reference Manual. Digital Equipment Corp., Maynard, Mass.
- 10) Good W. 1976. Multivariate Data Analysis to Describe Intra- and Inter-Granular Relations in Thin Sections. *Proceedings of the Fourth International Congress for Stereology*, NBS, Gaithersburg, Maryland, September 1975, p. 75 - 78.

3. W. Kuhn und J. Quiby (Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt, Zürich): Dynamischer Beitrag zur Niederschlagsprognose in der Schweiz

Die numerischen Prognosen, die wir von den Wetterdiensten der BRD und der USA zweimal täglich erhalten, beruhen auf physikalischen Simulationsmodellen der Atmosphäre, deren Differentialgleichungen nach der Methode der finiten Differenzen in Gittern mit etwa 350 km horizontaler Maschenweite gelöst werden. Prognostiziert wird in erster Linie die Höhe von Standard-Isobarenflächen über der ganzen Nordhemisphäre, und zwar auf 24, 48 und 72 Stunden, teils auch auf 5-6 Tage im voraus. Entsprechend der Maschenweite können mit einem solchen Verfahren Tief- und Hochdruckgebiete und Wellen des Druckfeldes mit charakteristischen horizontalen Abmessungen von 1'000 km und mehr erfasst werden, während kleinere Gebilde verfälscht oder gar nicht wiedergegeben werden. Die Vorhersage des Wetters in der Schweiz auf Grund der grossräumigen Prognosenkarten bleibt Aufgabe der Meteorologen.

Um diese Aufgabe objektiver zu gestalten, wurden in den letzten Jahren auf Grund vergangener Wetterlagen *statistische* Zusammenhänge zwischen grossräumigen Parametern und lokalem Wetter ermittelt mit dem Ziel, diese Zusammenhänge auf die als richtig angenommenen Prognosenkarten anzuwenden.

Als Ergänzung zu diesen bereits bewährten statistischen Verfahren haben die Autoren in Zusammenarbeit mit einem vom Nationalfonds besoldeten Mathematiker, Herrn Peter Fink, ein *dynamisches* Verfahren entwickelt, bei welchem auf Grund der grossräumigen Topographie von Isobarenflächen zunächst die gleichzeitige *vertikale Windkomponente* im Alpenraum berechnet wird. Da zwischen der vertikalen Windkomponente und der Entstehung von Niederschlägen eine enge Beziehung besteht, wurde dieses Verfahren als Hilfe für die Niederschlagsprognose konzipiert.

Es handelt sich um ein diagnostisches Modell, d.h. die Zeit tritt in den Differentialgleichungen nicht explizit auf. Bei einem diagnostischen Verfahren gibt es keine rechnerische Instabilität, und die zur Durchführung der Rechnungen erforderliche Computerzeit ist viel kleiner als bei einem prognostischen Verfahren.

Für unser meso-synoptisches Modell verwenden wir ein Gitter, dessen horizontale Maschenweite einen Zehntel derjenigen des hemisphärischen Gitters, also rund 35 km, beträgt. Die entsprechende Topographie der Alpen wurde durch Mittelung der Geländehöhe im gleichen 35 km-Raster erhalten.

Die Strömung in der Grundsicht beeinflusst die dreidimensionale Verteilung der vertikalen Windkomponente durch das erzwungene Auf- und Absteigen der Luft in geneigtem Gelände und durch die Reibung. Die Obergrenze der Grundsicht wird willkürlich mit der 850mb-Fläche identifiziert, und die im 850mb-Niveau aus den Grundsichteffekten sich ergebende Vertikalbewegung wird im Prinzip als untere Randbedingung für die Vorgänge in der darüberliegenden freien Atmosphäre angesehen. Oberhalb der Grundsicht werden die Gesetze der reibungsfreien Dynamik, wie sie über dem Ozean gelten, als erfüllt betrachtet.

Wir haben nebeneinander zwei Verfahren mit verschiedenem Freiheitsgrad entwickelt. Das erste stützt sich auf das sogenannte äquivalent-barotrope Modell der Atmosphäre, bei welchem oberhalb der Grundsicht die Windrichtung von der Höhe bzw. vom Druck unabhängig ist; das zweite auf die Omegagleichung, eine lineare Differentialgleichung zweiter Ordnung zur Bestimmung der vertikalen Windkomponente auf hydro- und thermodynamischer Grundlage. Diese beiden Modelle werden im weiteren abgekürzt als *barotrop* und *baroklin* bezeichnet.

Das barotrope Modell verwendet ausschliesslich Eingabedaten aus dem 500mb-Niveau; der Bodenwind wird anhand des geostrophischen 500mb-Windes parametrisiert. Beim baroklinen Modell werden Daten vom 850-, 700-, 500- und 300mb-Niveau gebraucht, wobei der geostrophische 850mb-Wind als Grundlage für die Parametrisierung des Bodenwindes dient.

Bei der Parametrisierung des Bodenwindes wird in Anlehnung an ein von Reuter und Pichler beschriebenes Näherungsverfahren die Deformation der Vertikalprojektion der Stromlinien durch die Alpen berücksichtigt.

Als Ausgangsmaterial für die Entwicklung und Prüfung der Methoden wurden Magnetbänder mit numerischen Analysen, die uns das Zentralamt

des Deutschen Wetterdienstes verschafft hatte, benützt. Aus diesem Material wählten wir zwanzig 00h-Termine (GMT) des Jahres 1971 so aus, dass ein möglichst breites Spektrum von typischen Grosswetterlagen Mitteleuropas vertreten war. Zu jedem dieser zwanzig Termine wurden aus dem Klimaarchiv der MZA die von 18h des Vortages bis 06h des Stichtages gefallenen Niederschläge von 130 Klimastationen herausgesucht und im feinen Raster felderweise gemittelt.

Von Anfang an war eine gewisse Entsprechung von berechneten Aufwinden und gemessenen Niederschlägen erkennbar. Eine Analyse der Resultate zeigte jedoch bald, dass die aus dem groben Gitter und die aus dem feinen Gitter gewonnenen Parameter wegen ungleicher "truncation"- und Glättungseffekte nicht aufeinander abgestimmt waren. Insbesondere erwies sich der grossräumige Anteil der Vertikalgeschwindigkeit im Vergleich zum kleinräumigen, orographisch bedingten als viel zu klein, was wohl hauptsächlich den in den numerischen Analysen enthaltenen Glättungsoperationen anzulasten ist. Dies zwang uns zur Einführung von *Gewichtsfaktoren* für die verschiedenen Parameter. Im Hinblick auf den Zweck unserer Arbeit ermittelten wir die Gewichte empirisch, indem wir durch eine Regressionsanalyse den Einfluss der einzelnen Parameter auf den Niederschlag bestimmten.

Dieses gemischt dynamisch-statistische Modell liefert nun nicht mehr Aufwinde, sondern einen theoretischen Niederschlagsbetrag für jeden Gitterpunkt. Wie bei der Kompliziertheit der dynamischen Vorgänge und der Niederschlagsbildung zu erwarten, ist allerdings die Streuung der beobachteten um die berechneten Niederschläge noch recht gross. Als bisherige *Ergebnisse* dieser Untersuchung stellen wir fest:

- 1) In den meisten Fällen besteht eine angenäherte Uebereinstimmung in der geographischen Verteilung zwischen berechneten und beobachteten Niederschlägen.
- 2) In Kerngebieten des Niederschlags werden zu kleine Beträge errechnet, was wohl eine Folge der Regressionstechnik ist.
- 3) Das barokline Verfahren ergibt bei der Mehrzahl der Wetterlagen, wenn auch nicht in jedem Fall, etwas bessere Resultate als das barotrope. Dem steht allerdings der Nachteil gegenüber, dass das barokline Verfahren 5-10 mal mehr Rechenaufwand erfordert.

Die *prognostische Anwendung* setzt numerische Prognosen in digitaler Form voraus, wobei die Höhen der Isobarenflächen auf Meter genau gegeben sein sollten. Solche Unterlagen werden uns frühestens nach Inbetriebnahme des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wetterprognosen zur Verfügung stehen.

4. K. Lenggenhager (Bern): Ueber Eiszapfenbildungen

Nach jahrelangen Eigenbeobachtungen weist die überwiegende Mehrzahl der in unseren Gegenden zu beobachtenden Eiszapfen stumpfe Enden auf, während seltener ideal spitze Eiszapfen gesehen werden.

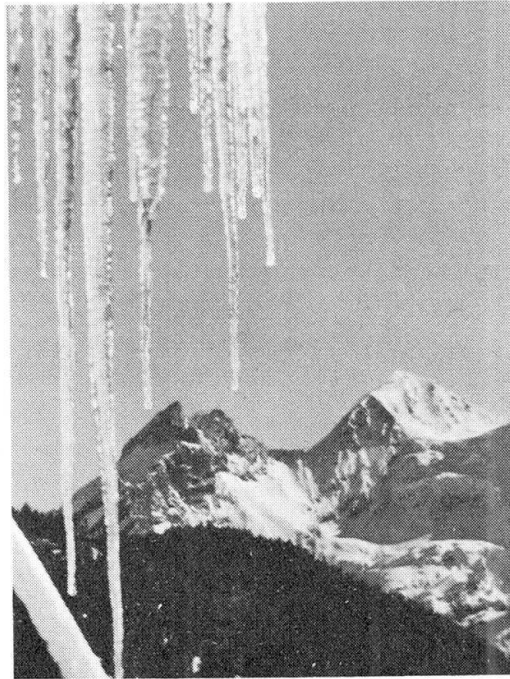


Abb. 1 Lange, stumpfe Eiszapfen mit queren Rippen (Kandersteg).

Zahlreiche winterliche Aufenthalte auf Jungfraujoch und dem Säntisgipfel haben folgendes zur Erklärung beigetragen. Wenn nach Schneefall ein kalter, jedoch sonniger Tag folgt, so fallen nach geraumer Zeit die ersten Tröpfchen und bilden in der kalten Luft die ersten Eiszapfen. Diese weisen während und nach ihrem Wachstum stumpfe, tropfenbedingte Enden auf, siehe z.B. Abbildung 1.

Verschwindet dann die Sonne hinter einem Gipfel oder Gebäudeteil, so nimmt der Schmelzprozess wieder langsam ab, und es gefrieren zunächst nur die untersten Tropfen mit dem längsten Abkühlungsweg an solchen Eiszapfen. Dadurch ist ihr stumpfes Ende bedingt wie in Abb. 1.

Mit zunehmender Abkühlung verlagert sich der Gefrierort progressiv wiederum nach oben, was zur konischen Form der Eiszapfen führen kann, da auch die ersten Tropfen des nächsten sonnigen Morgens wieder zu oberst zu gefrieren beginnen.

An dem kleinen, seinerzeitigen Militär-Schutzhüttchen auf dem Mönchsjoch (ca. 3'600 m) konnte Mitte März 1954 im unmittelbaren Anschluß an das Verschwinden der Sonne hinter dem höheren Jungfraugipfel beobachtet werden, wie die vom schneebedeckten Blechdach fallenden Schmelztropfen sich von ihrer Basis her durch dünne Eishülsen zu umgeben begannen, die röhrenförmig nach unten auswuchsen. In wenigen Minuten waren bis zu 8 cm lange Eisröhrchen gebildet, aus deren Oeffnungen immer noch Tröpfchen austraten, bis auch diese an der kalten Luft erstarrten und das stumpfe Ende dieser Eiszäpfchen bedingten.

Ein umgekehrtes Geschehen konnte an einem winterlichen Bergbrunnen beobachtet werden, wo um einen aus 1,5 m fallenden Wasserstrahl vom

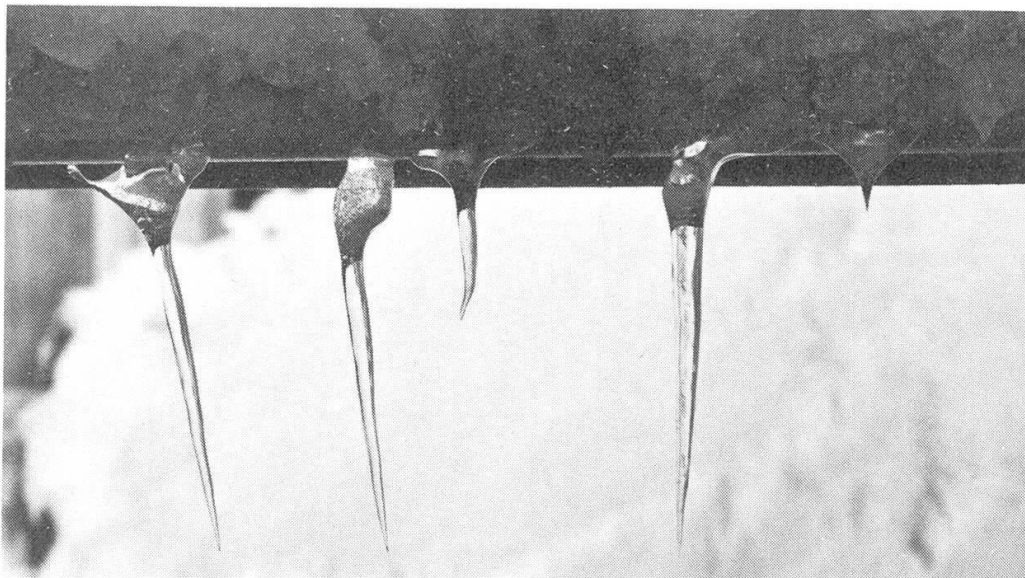


Abb. 2 Ideal spitze Eiszapfen auf dem Säntisgipfel, 2504 m, anfangs Januar nach kaltem, bedecktem Wetter.

Auffallgitter her aufsteigend sich eine enge Eiströhre gebildet hatte, die den Wasserstrahl bis auf 1,2 m hinauf eng umgab (Bild wurde gezeigt).

Beobachtungen haben ergeben, dass "ideal" spitze Eiszapfen dann resultieren, wenn vorerst stumpfe Eiszapfen während gewisser Zeit einem kalten, trockenen Wetter bei bedecktem Himmel ausgesetzt sind. Dann geschieht eine Sublimation des unter dem Gefrierpunkt stehenden Eises, wie dies im Himalaya oder den Anden (auch vom Schnee) bekannt ist. In der Abb. 2 sind solche Beispiele von ideal spitzen, langen Eiszapfen dargestellt, welche sich aus vorerst stumpfen Zapfen nach 2-3 kalten, trockenen, windigen und sonnenfreien Tagen auf dem winterlichen Säntis (2504 m) bei einem Luftwassergehalt von nur 16% gebildet hatten.

Eine Ausnahme von dieser Regel kann jedoch auftreten, wenn im Anschluss an schönes Kaltwetter ein kürzerer Regen niederfällt, gefolgt durch kräftigen Kaltwind, der die hängenden Tropfenreste wegfegt, sodass spitze Enden hinterlassen bleiben. Dies kann an stumpfen Eiszapfen nachgeahmt werden, die mit nach oben gerichteten Enden in Zimmertemperatur verbracht, bald spitz werdende Enden bekommen.

In der spärlichen diesbezüglichen Literatur findet sich bei Hatakayama und Nemoto nur der Satz, dass die so häufige quere Rippung gewöhnlicher Eiszapfen bei nun fehlendem Wassernachschub durch die Sublimation des Eises an diesen vorspringenden Eispartien rascher geschehe und so zur Glättung solcher Eiszapfen führe.

In den Arbeiten von Luikow und Lebedew, und auch bei Lliboutry finden sich keine Angaben über Genese glatter und stumpfer Eiszapfen.

Die Abstände der periodischen, ringförmigen Anschwellungen frisch gebildeter Eiszapfen wurden von Hatakayama zu durchschnittlich 11 - 9 mm

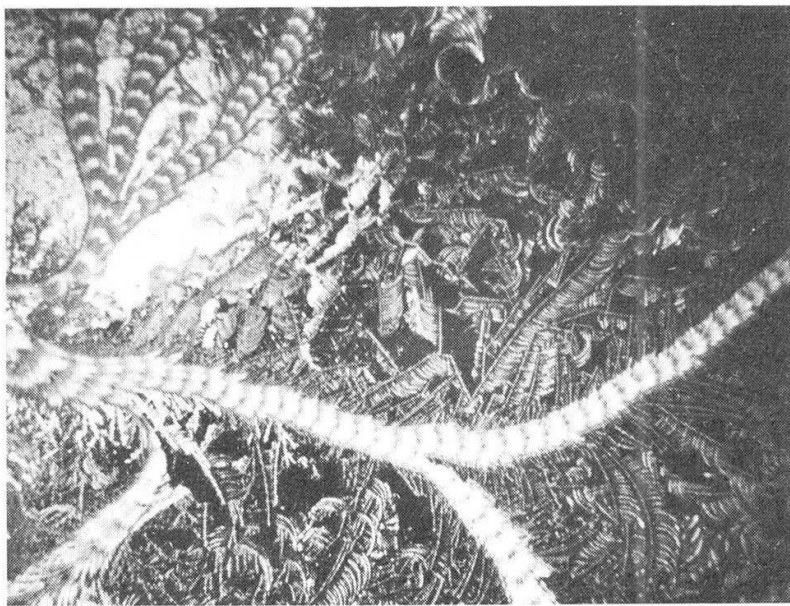


Abb. 3 Eisblumensträsschen mit periodischen "Unterbrüchen" von ca. 8 – 10 mm, links gegen oben sich bei rascherem Wachstum leicht verbreiternd, am abendlichen Observatoriumsfenster auf dem Säntisgipfel, anfangs Januar.

gemessen und genetisch in Beziehung zur Länge eines hängenden Tropfens gebracht, wobei jedoch nicht recht ersichtlich ist, warum diese queren Anschwellungen mit so grosser Regelmässigkeit selbst an dicken Eiszapfen erfolgen. Auch sind hängende Wassertropfen nicht länger als 5 – 7 mm. Desgleichen zeigen auch an kalten Fenstern von seitlich oder unten ansteigende Eissträsschen ebenfalls periodische Querstreifungen mit ganz ähnlichen Intervallen wie bei welligen Eiszapfen. Bei rascherem Wachstum können sich diese Perioden vergrössern, siehe Abb. 3, oben links. Dies ist offenbar eine Eigenschaft wachsenden Eises und müsste demnach nicht unbedingt bei den welligen Eiszapfen durch deren Tropfengrösse erklärt sein. Andererseits ist es auch durchaus möglich, in Kühlschränken lange und gerade Eiszapfen gelegentlich entstehen zu sehen (auch solche Bilder wurden gezeigt).

Literatur

- Hatakayama H., Nemoto S.A.: Note on the formation of horizontal stripes on icicles. *Geophysical Magazine* 28, 479; 1958.
 Lliboutry L.: *Traité de glaciologie*, Bd. I und II. Masson, Paris 1964.
 Luikow A.V. und Lebedev D.P.: Study of the Ice Sublimation process. *Internat. J. Heat Mass Transfer*. 16, 1087-96; 1973.

5. H. Richner und W. Nater (ETH-Zürich): Vergleich gemessener und berechneter Charakteristiken von internen Schwerewellen in der unteren Atmosphäre

Das Laboratorium für Atmosphärenphysik der ETH Zürich (LAPETH) untersucht zur Zeit atmosphärische Wellen. Verschiedene Instrumente stehen dazu zur Verfügung: Ein Netz von Mikrobarographen zeichnet Druckschwankungen mit Periodendauern zwischen ungefähr 1 und 30 Minuten auf. Freiballone mit Radiosonden und ein Fesselballon mit einer Einsatzhöhe bis zu 1500 m erlauben in-situ Messungen von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind. Das nützlichste Instrument ist ein mobiler akustischer Echo Sounder – auch bekannt unter den Namen Acdar, Sodar, Akustisches Radar oder Sonar –, welcher in der Lage ist, dynamische klein- bis kleinst-räumige Phänomene in den untersten 1000 m der Atmosphäre aufzuzeigen.

Die Untersuchungen konzentrieren sich hauptsächlich auf Föhnlagen, wenn sich zwischen Kaltluftsee und Föhnluft eine ausgeprägte interne Grenzschicht gebildet hat.

Spektrum und Ausbreitungseigenschaften von Druckschwankungen

Bereits eine visuelle Untersuchung der Aufzeichnungen der Mikrobarographen zeigte, dass im Spektrum der atmosphärischen Druckschwankungen eine Lücke besteht: Fluktuationen mit Perioden zwischen 4 und 5 Minuten scheinen sehr selten zu sein. Dieses subjektive Resultat wurde bestätigt, indem das Spektrum für verschiedene Zeitintervalle mit Hilfe der Fast-Fourier Transformation berechnet wurde (siehe Figur 1).

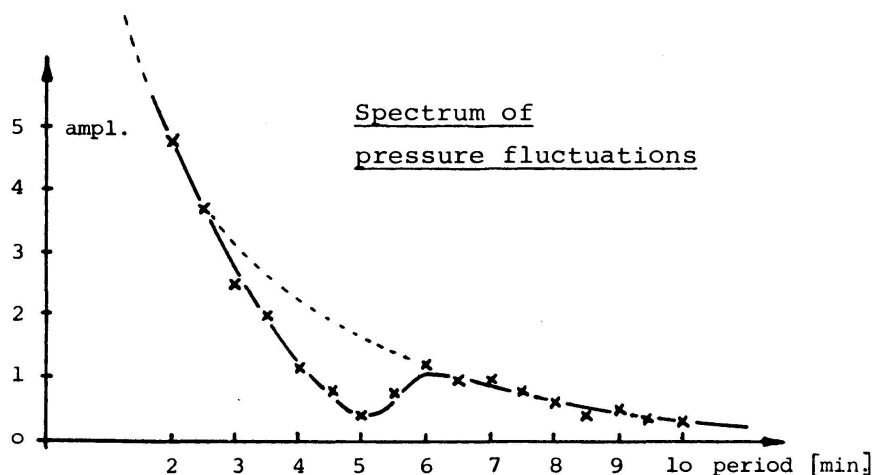


Fig. 1 Spektrum der Druckschwankungen aufgenommen am 6. Dezember 1971 in Zürich.

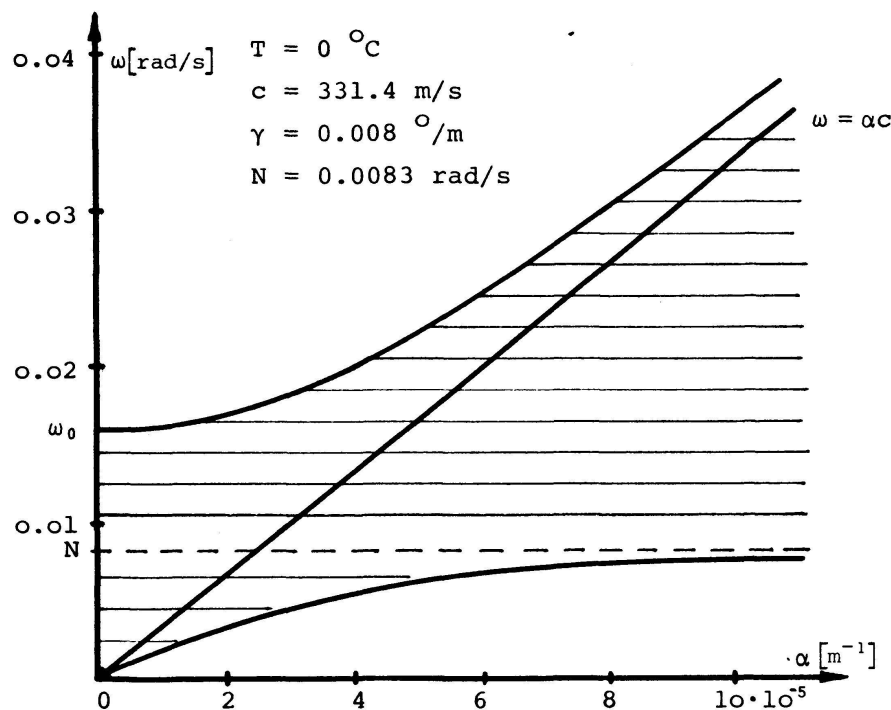


Fig. 2 Wellenzahl-Frequenz-Diagramm für eine Atmosphäre mit einer Temperatur von 0°C und einer lapse rate von $8^{\circ}/\text{km}$. α ist die horizontale Wellenzahl in m^{-1} und ω ist die Frequenz in rad/s .

Löst man die Wellengleichung für eine isotherme, geschichtete Atmosphäre im Schwerfeld so erhält man die in Figur 2 dargestellte Beziehung zwischen horizontaler Wellenzahl α und Frequenz ω . $\omega = \omega_0$ stellt die minimale Frequenz einer akustischen Welle dar, $\omega = N$ ist die Brunt-Vaisälä-Frequenz. Die ausgezogenen Linien zeigen die Beziehung zwischen horizontaler Wellenzahl und Frequenz für Wellen, die sich ausschliesslich horizontal ausbreiten, d.h. die vertikale Wellenzahl ist hier null. In der gesamten Region oberhalb des oberen Astes können jedoch akustische Wellen und in der gesamten Region unterhalb des unteren Astes können Schwerewellen auftreten. Dabei ist die vertikale Wellenzahl jedoch nicht mehr unbedingt gleich null. Die Gerade $\omega = \alpha c$ stellt die Lamb Welle dar, also die nicht-dispersive, horizontale Welle, welche sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet. Im übrigen können im schraffierten Gebiet zwischen den Achsen nur vertikale, abklingende Wellen auftreten.

Die erwähnte, experimentell gefundene Lücke im Spektrum der Druckschwankungen lässt sich sehr gut mit der Lücke zwischen N und ω_0 in Übereinstimmung bringen. Zudem ist ersichtlich, dass Druckschwankungen mit Periodendauern von weniger als 4 Minuten auf akustische Wellen zurückzuführen sind. Um Ausbreitungsgeschwindigkeit und -richtung der Druckschwankungen zu bestimmen, wurde ein Netz von 10 Mikrobarographen aufgestellt. Die Durchgangszeiten charakteristischer Wellenformen wurden an jeder Station festgehalten. Diese Zeiten wurden in ein Modell eingegeben, das die Richtung und die Phasengeschwindigkeit für eine

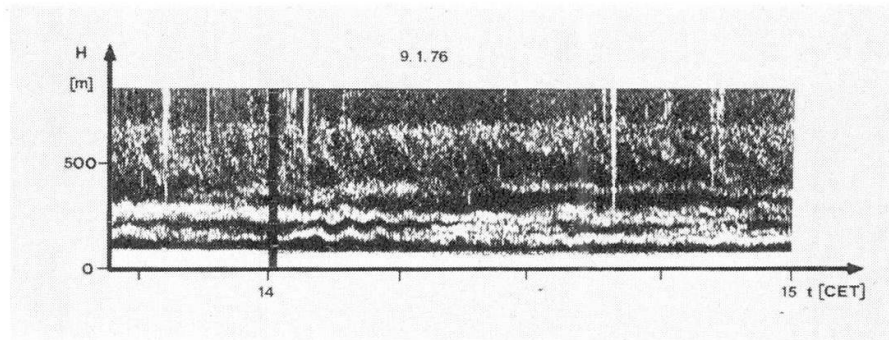


Fig. 3 AES-Aufzeichnung mit Zopfwellen (obere Hälfte) und sinusförmige Wellen (untere Hälfte).

sphärische, sich isotrop ausbreitende Welle berechnete. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit erhielt man 20.47 ± 0.30 m/s. Dieser Wert – für fünfzig Fälle aus je rund hundert Kombinationen von 3 Stationen berechnet – zeigt eine für Messungen in der Atmosphäre äusserst geringe Standardabweichung. Der Wert selbst steht in guter Übereinstimmung mit der Theorie: unter der Annahme rein horizontaler Ausbreitung erhält man rund 22 m/s. Es bleiben jedoch gewisse Zweifel über die Signifikanz der Standardabweichung. In der Literatur findet man experimentell bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 20 m/s, es wurden jedoch auch schon Werte von 10 und 40 m/s publiziert, die allerdings nur aufgrund von Messungen mittels zwei oder drei Stationen berechnet wurden.

Wellenstrukturen in Aufzeichnungen des Akustischen Echo Sounders

Ein zusätzliches Instrument, das für die Untersuchung atmosphärischer Wellen eingesetzt wird, ist der Akustische Echo Sounder (AES). Seine Wirkungsweise ist analog der eines Radars. Mit seiner Hilfe können atmosphärische Wellen aufgrund der mit ihnen verbundenen Temperaturfluktuationen sichtbar gemacht werden.

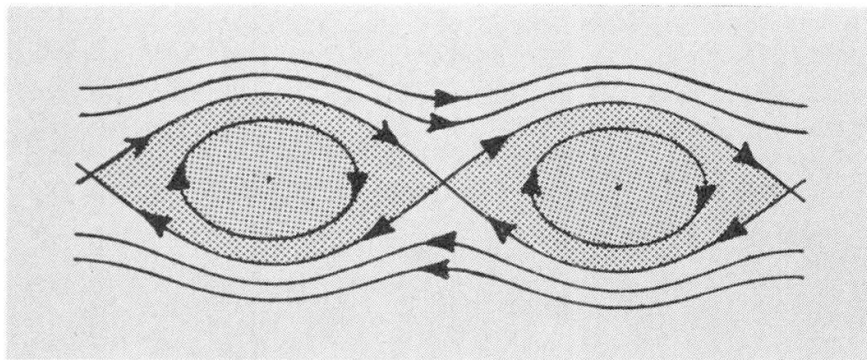


Fig. 4 Schematische Darstellung von Katzenaugen-Wellen (aus Gossard und Hooke).

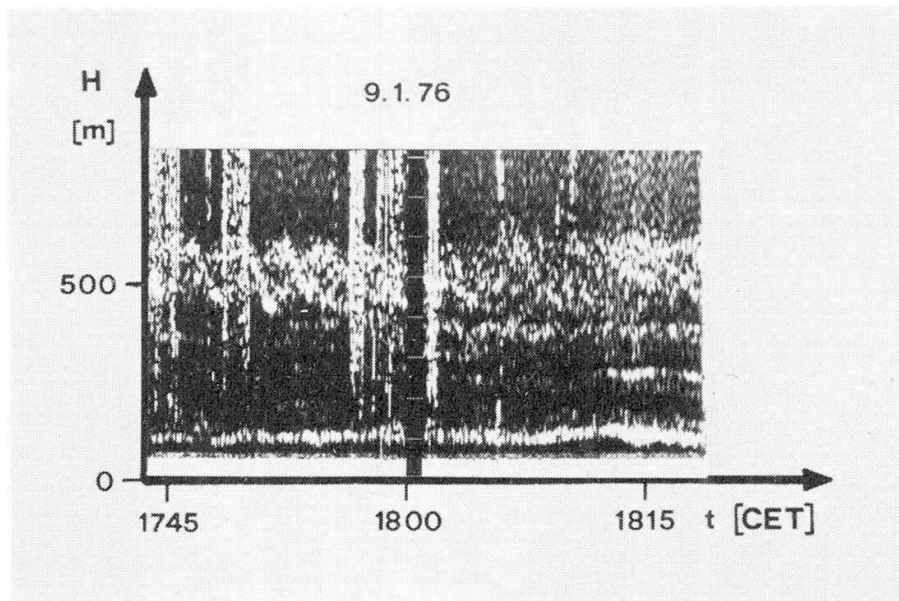


Fig. 5 AES-Aufzeichnung mit Katzenaugenwellen auf einer Höhe von ca. 500 m.

Figur 3 zeigt sogenannte Zopfwellen (englisch: "braids"). Die Periode dieser wellenartigen Strukturen ist ungefähr 190 s, ihre Amplitude um 200 m. Es wird angenommen, dass Zopfwellen wegen dynamischer Instabilität auftreten, welche ihrerseits durch vertikale Scherungen hervorgerufen sind. Delisi und Corcos haben jedoch experimentell nachgewiesen, dass solche Wellen auch in horizontalen Scherungen auftreten können. Richter und Gossard schliessen aus FMCW-Radar-Beobachtungen, dass sich diese Wellen mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten.

In Figur 4 sind Katzenaugen-Wellen schematisch dargestellt, die bereits 1880 von Lord Kelvin theoretisch behandelt wurden. Unter der Annahme eines Windfeldes

$$U = \beta z + i \Delta U_s e^{-\gamma z} e^{ikx}$$

d.h. eines linear mit der Höhe ändernden Windfeldes mit einer überlagerten sinusförmigen Störung, kann die Begrenzung zwischen den Rotoren und den wellenförmigen Stromlinien berechnet werden zu

$$z = \pm 2 \sqrt{\Psi_s / \beta} \sin \frac{kx}{2}$$

Ψ_s ist dabei die Stromlinienstörung. Figur 5 zeigt Katzenaugenwellen, wie sie vom AES aufgezeichnet wurden. Wir hoffen, durch genaue Messung des Windfeldes die Gültigkeit der Theorie zu überprüfen, was – soweit wir wissen – für die reale Atmosphäre noch nicht geschehen ist.

Der untere Wellenzug in Figur 3 wurde eingehend analysiert, indem aus Temperatur- und Windprofilen die theoretische, kritische Wellenlänge berechnet und mit der experimentell bestimmten verglichen wurde. Aufgrund der einfachen Helmholtz Theorie ergibt sich für die minimale Wellen-

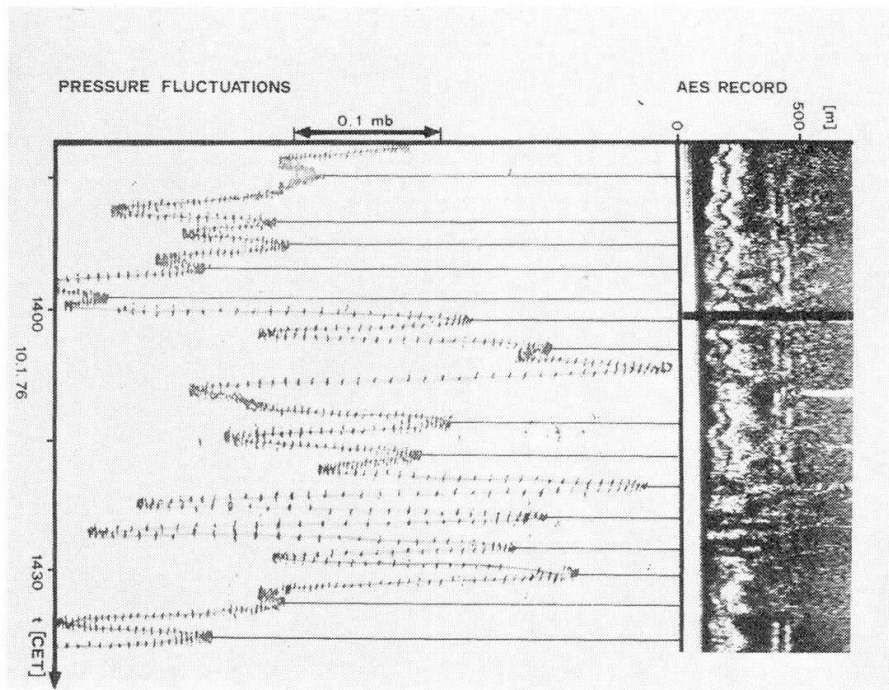


Fig. 6 Schwerewellen simultan aufgezeichnet durch den AES und durch einen Mikrobarographen. Frequenz und Phase stimmen sehr genau überein, während die Amplituden verschieden sind.

länge 25 m, aufgrund einer verfeinerten Theorie von Reiter 38 m. Die gemessene Wellenlänge von 110 m ist somit um einen Faktor 3 über der kritischen Wellenlänge. Es kann somit geschlossen werden, dass es sich bei den beobachteten Wellen mit Sicherheit um Schwerewellen handelte. Auch die Richardsonzahl, welche 4.7 betrug, lag eindeutig über den kritischen Werten von 0.25 (aus der einfachen Theorie) bzw. von 0.5 (aus einer verfeinerten Theorie von Sekioka), welche die untere Grenze für die Existenz von Schwerewellen darstellen.

Figur 6 zeigt die Aufzeichnung einer Welle durch den AES und die korrespondierenden Druckschwankungen. Phase und Frequenz der Druckschwankungen lassen sich eindeutig der atmosphärischen Welle zuordnen, während die Amplitude wahrscheinlich durch Druckschwankungen aus entfernteren Quellen gestört ist.

Literatur

- Delisi, D.P. and Corcos, G.: A study of internal waves in a wind tunnel. *Boundary Layer Meteorol.* 5, 121-137, 1973.
- Gossard, E. and Hooke, W.: *Waves in the atmosphere*. Amsterdam, Oxford, New York 1975.
- Kallistratova, M.A.: Experimental investigation of sound wave scattering in the atmosphere. *Trudy instituta fiziki atmosfery, Atmosfer'naya turbulentnost'*, No. 4, pp. 203-256. (Translated by Foreign Technology Division, WB-AFB, Ohio, FTD-TT-63-441/1+2+4).

6. B. Primault et G. Hirschi: Quelques aspects particuliers des atmosphériques

Depuis bien des décennies déjà, on a cherché à mesurer l'intensité et surtout la fréquence des perturbations électromagnétiques à grande longueur d'onde. Celles-ci proviennent généralement de décharges électriques survenant dans l'atmosphère (plus spécialement des éclairs), mais aussi du frottement entre deux masses d'air de densité et/ou de trajectoires différentes.

Ces perturbations électromagnétiques suscitent des trains d'ondes qui peuvent être assimilés à des parasites radio. Il s'agit donc, en général, de chocs.

Bureau et plus spécialement Lugeon et Rieker ont utilisé ces trains d'ondes afin de localiser les perturbations météorologiques (fronts froids ou foyers orageux).

Dans des travaux plus récents, tels que ceux de Primault ou de Reiter par exemple, on a pu constater une relation étroite entre certains phénomènes biologiques et les fluctuations du nombre de chocs électromagnétiques à grande longueur d'onde, c'est-à-dire des "atmosphériques" ou "atmos".

Lors de l'enregistrement, on peut différencier trois paramètres résultant de ces trains d'ondes: l'intensité, la direction ou le nombre. Dans ce qui suit, nous nous attacherons uniquement à cette troisième grandeur, c'est-à-dire au nombre de chocs perçus à l'unité de temps.

L'un de nous a rapporté déjà plusieurs fois sur des enregistrements effectués au moyen d'un appareil de sa construction. Nous ne tiendrons pas compte ici de l'hypothèse de travail qu'il a eu émise au sujet de l'origine des phénomènes enregistrés par ses soins. Nous nous contenterons de quelques considérations basées uniquement sur les diagrammes qu'il a relevés.

Vu le caractère des courbes présentées on pouvait penser qu'il mesurait des atmosphériques. Les appareils de sa fabrication étaient placés à Richterswil. Ceux qui enregistraient les atmosphériques étaient placés durant la même période soit à Zurich, soit à Payerne.

Les deux types d'appareils sont très différents l'un de l'autre. Pour une comparaison il est impossible de superposer les enregistrements obtenus avec l'un ou l'autre, ne serait-ce qu'en raison des différences d'échelle (amplitude et temps). Pourtant, si l'on opère de façon synchrone une adaptation linéaire de l'écart enregistré avec l'origine, on est frappé de constater tout d'abord que les maxima et les minima sont situés aux mêmes heures dans les deux cas et que les courbes présentent les mêmes caractéristiques (voir figure 1).

Il semble donc au premier abord que M. Hirschi mesure effectivement les atmosphériques. Pourtant, en comparant les schémas électriques des deux types d'appareils, il ne peut s'agir du même phénomène électromagnétique. En outre, l'appareil de Hirschi placé dans une cage de Faraday continue de réagir. Nous sommes confrontés aux mêmes constatations faites voici quelques années déjà par Piccardi de l'Université de Florence. Piccardi recherchait dans quelle mesure les conditions ambiantes agissaient sur la vitesse de réactions chimiques inorganiques. Il a découvert que cette vitesse n'était pas identique à l'intérieur et à l'extérieur d'une cage de Faraday, les autres conditions restant égales (concentration, température du liquide, température du milieu, humidité du milieu, pression atmosphérique, luminosité, etc.)

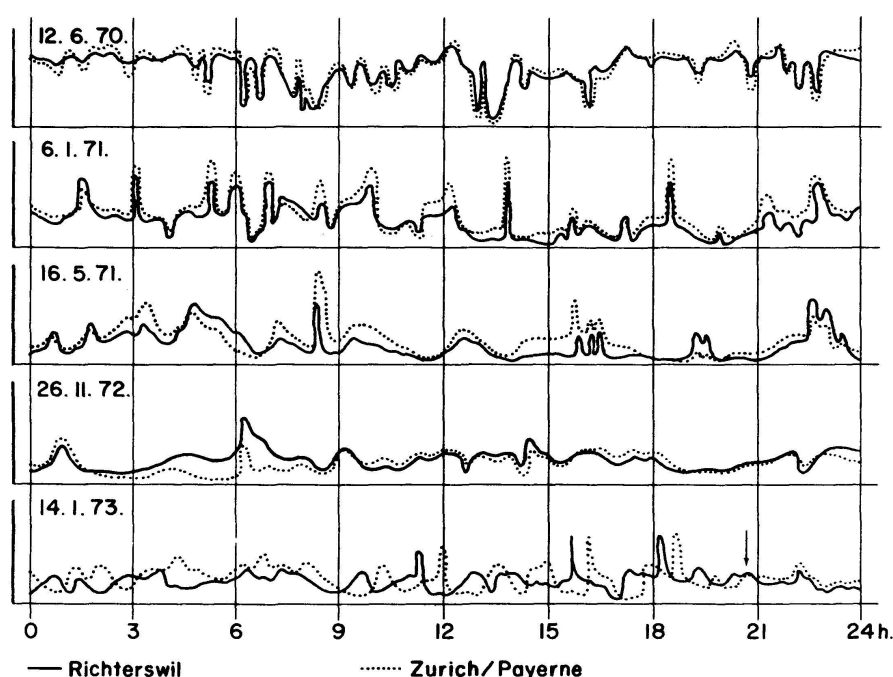


Fig. 1 Comparaison des enregistrements

Au début, il en a déduit que des phénomènes électriques ou électromagnétiques agissaient sur la vitesse de réaction de ses précipités (il s'agissait d'oxychlorure de bismuth). S'il effectue son précipité uniquement à l'intérieur de la cage de Faraday, il constate des fluctuations journalières, saisonnières et annuelles de la vitesse de réaction. Ces dernières présentent un mouvement cyclique calqué sur celui de l'activité solaire. Cette relation est encore plus marquée si l'on établit le rapport de la vitesse de réaction en dehors et en dedans de la cage de Faraday.

Des comparaisons effectuées entre les tests de Piccardi, consignés à Côme, à Florence ou à Bruxelles, ont montré une étroite relation avec les moyennes journalières des atmosphériques enregistrés à Zurich et à Payerne.

Il semble donc qu'il y ait des phénomènes encore inconnus dont l'action se perd dans différents domaines de la physique, de la chimie et, par voie de conséquence, de la biologie. Ces phénomènes appelés par Piccardi "fenomeni flutuanti" se répercutent sur la facilité de propagation des ondes électromagnétiques à grande longueur d'onde, sur les réactions chimiques aussi bien inorganiques qu'organiques (selon CAPEL-BOUTE). Ils sont probablement à l'origine des variations de certains phénomènes biologiques tel que le développement des bactéries selon BORTELS, des levures selon Giordano, des virus de la fièvre aphteuse selon Primault.

Pourquoi alors exclure que les enregistrements effectués par Hirschi soient eux aussi influencés directement par ces mêmes phénomènes fluctuants, découverts et mis en valeur par Piccardi. Il se pourrait même que les dits phénomènes fluctuants puissent être influencés par la technique humaine.

D. Nekrologe für verstorbene Mitglieder der SNG
D. Nécrologies de membres de la SHSN
D. Necrologie di soci della SESN



Jean-Aimé Baumann

1910 – 1976

Au cours de ses études de médecine à la Faculté de Genève, Jean-A. Baumann devint assistant en anatomie chez le professeur J. Amédée Weber dont la personnalité devait le marquer profondément. Aussi, après quelques années de pratique, devait-il occuper le poste de chef de travaux auprès de J.A. Weber auquel il succéda en 1947 comme professeur d'anatomie à la Faculté de Médecine. Jean-A. Baumann a conféré à ses cours et à ses travaux pratiques d'anatomie un cachet original et a beaucoup développé l'emploi des moyens audio-visuels. Il a su rendre vivante une science difficile à animer et s'est dépensé sans compter pour ses étudiants.

Par ailleurs, les nombreux travaux de Jean-A. Baumann ont fait de lui un anatomiste réputé tant en Suisse qu'à l'étranger.

Fin et cultivé, il avait une dialectique subtile et parfois redoutable tempérée cependant par son sens de l'humain et par un humour très personnel. C'était non seulement un organisateur remarquable mais un conciliateur qui a rendu de grands services à sa Faculté.

Jean-A. Baumann a présidé le Conseil de Fondation de la Cité Universitaire, œuvre créée par lui; il a aussi été l'actif secrétaire de la Fondation Universitaire Simon Patino, avant de devenir président de la Fondation Pro Bolivie et encore président de l'Association des Anciens Etudiants de l'Université de Genève. Au début de 1975, le Sénat de la S.H.S.N. l'avait désigné et élu président annuel pour 1976.

(Faculté de Médecine, Université de Genève)



Hans Fischer

1892 – 1976

Hans Fischer, der seit 1925 Mitglied unserer Gesellschaft war, entstammte der berühmten metallurgischen Familie in Schaffhausen. Er studierte Medizin in Zürich und München. Erst arbeitete er bei dem Gerichtsmediziner Zangger, um 1925 in das Pharmakologische Institut von Cloetta hinüberzuwechseln. 1929 habilitierte er sich bei Cloetta, und 1935 wurde er dessen Nachfolger. Er blieb Professor der Pharmakologie an der Universität Zürich bis 1962. Als Pharmakologe und Schüler von Cloetta beschäftigte er sich natürlich anfangs mit Digitalis. Er verfasste auch wichtige Arbeiten über Schlafmittelvergiftungen und elektrische Unfälle. Mindestens seit Anfang der 40er Jahre aber konzentrierte er seine und die Arbeiten seiner Mitarbeiter auf die Cytopharmakologie. Es war ihm vergönnt, noch 1971, das heisst im Alter von 79 Jahren, sein grundlegendes Werk "Vergleichende Pharmakologie von Ueberträgersubstanzen in tiersystematischer Darstellung" herauszubringen. Zu seinem 70. Geburtstag erschienen von seinen Schülern und Kollegen geschriebene Festnummern in der Schweizer Medizinischen Wochenschrift und in den *Helvetica Physiologica et Pharmacologica Acta*. Auch der *Gesnerus* publizierte eine Festnummer zu diesem Anlass. Im *Gesnerus* 33 (1976) findet sich eine komplette Bibliographie Fischers aus der Feder von Dr. Heinz Balmer. Fischer war so über ein halbes Jahrhundert als Forscher und Lehrer der Pharmakologie tätig, und fügen wir hinzu: als Vertreter seiner Spezialität im öffentlichen Interesse. Das Schweizer Heroinverbot geht zum Beispiel auf seine Oeffentlichkeitsarbeit zurück.

Noch bekannter war aber Fischer wahrscheinlich in unserer Gesellschaft als Medizinhistoriker. Von 1936 – 1969 war er Sekretär der Schweize-

rischen Gesellschaft für Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften. Nur dank seiner aufopfernden Tätigkeit konnte diese kleine Gesellschaft überleben. Von 1943 – 1973 war er auch Redaktor ihrer Zeitschrift *Gesnerus*. Fischer hat selber, beginnend 1931 mit einer Studie über seinen Landsmann Wepfer als Toxikologe, sehr Wertvolles auf dem Gebiet der medizin-historischen Forschung geleistet. Noch 1969 und 1973 veröffentlichte er ausgezeichnete Monographien über Conrad Gessner resp. Johann Jakob Scheuchzer. Eine 1962 erschienene Sammlung seiner Artikel "Arzt und Humanismus, das humanistische Weltbild in Naturwissenschaft und Medizin" enthält wertvolle Beiträge über Bacon, Cusanus, Leonardo, Paracelsus und Goethe. Seit 1935 referierte Fischer auf den Versammlungen der SNG über wissenschafts- und medizingeschichtliche Themen.

Fischer war ein durchaus vornehmer und eher stiller, dabei aber sehr warmherziger Mensch. Er war selbstlos und integer. Darum war es leicht und angenehm, mit ihm zusammenzuarbeiten. Seine hohe Intelligenz, sein grosser Fleiss waren mit einer ungewöhnlichen Zähigkeit gepaart. Hans Fischer hat in seinem Leben viel Glück gehabt, nicht zuletzt in seiner Ehe mit seiner treuen Lebensgefährtin, Vera Vogel; aber er hat es sich auch redlich verdient.

Fischer war von einer leider immer seltener werdenden ausserordentlich weitreichenden Allgemeinbildung. Dabei war er sehr naturnah. Seiner Begeisterung für Natur und Kultur huldigte er vor allen Dingen auch in Reisen in der Schweiz und an das geliebte Mittelmeer. Sein Wesen spiegelte sich in seinem schönen Haus und Garten in Zollikon, in dem er nicht zufällig Bienen züchtete. Diese gab er in gute Hände, als ihm vor einigen Jahren seine Gesundheit nicht mehr erlaubte, sie zu versorgen. Kaum einer, der Hans Fischer gekannt hat, wird aufhören, sich seiner zu erinnern und ihn zu lieben.

Erwin H. Ackerknecht

Ernst Furrer

1888 – 1976

Nachruf – verfasst von Arthur Uehlinger, Schaffhausen – erschienen in
“Natur und Mensch”, Doppelheft Nr. 6, Nov./Dez. 1976, S. 300.



Ernst Hadorn

1902 – 1976

Am 4. April 1976 ist in seinem Heim in Wohlen bei Bern kurz vor der Vollendung seines 73. Altersjahres Prof. Dr. Ernst Hadorn, Honorarprofessor für Zoologie, gestorben. Unser Land verliert mit ihm einen grossen, weit über die Landesgrenzen hinaus bekannt gewordenen und geschätzten Wissenschaftler und akademischen Lehrer, dessen Persönlichkeit und Schaffen die experimentelle Biologie während Jahrzehnten geprägt haben und auch über seinen Tod hinaus weiter wirken werden.

Ernst Hadorn wurde am 31. Mai 1902 auf einem Bauerngut in Forst bei Thun geboren. Nach kurzer Tätigkeit als Lehrer studierte er an der Universität Bern Zoologie, wo Prof. Fritz Baltzer, mit dem ihn auch später eine von gegenseitiger Achtung geprägte Freundschaft verband, lehrte und der ihn in die experimentelle Entwicklungsgeschichte einführte. Im Jahre 1939 wurde Ernst Hadorn ans Zoologisch-vergleichend-anatomische Institut der Universität Zürich berufen, dem er von 1943 bis zu seiner im Jahre 1972 erfolgten Emeritierung als Direktor vorstand.

In der Periode zwischen 1932 und 1937, während der Ernst Hadorn sich an der Universität Bern habilitierte, widmete er sich dem Problemkreis der Wechselbeziehungen zwischen Zellkern und Cytoplasma bei Amphibien. Während eines Aufenthaltes in den Vereinigten Staaten (1936/1937) machte er Bekanntschaft mit dem klassischen Objekt der Genetiker, der Taufliege *Drosophila*. Er hatte nämlich als einer der ersten die Notwendigkeit einer engeren Zusammenarbeit zwischen der klassischen Vererbungslehre und der Entwicklungsphysiologie erkannt. Unter Zuhilfenahme von vererbbaaren, insbesondere letalen Anomalien (Mutationen) untersuchte er mit verschie-

densten Methoden den steuernden Einfluss des Erbgutes auf die Entwicklung von *Drosophila* und fand, dass die Gene nach einem zeitlichen und räumlichen Wirkungsmuster zum Einsatz kommen. Sein 1955 erschienenes Buch "Letalfaktoren in ihrer Bedeutung der Erbpathologie und Genphysiologie der Entwicklung" ist zu einem Standardwerk geworden. In einer dritten Phase galt sein Interesse Determinations- und Differenzierungsproblemen auf zellulärer Ebene, wobei er zeigen konnte, dass der Determinationszustand, der das Differenzierungsschicksal einer Zelle festlegt, nicht unwiderruflich ist, sondern sich auf dem Weg der sog. Transdetermination verändern kann.

Ernst Hadorn war ein erfolgreicher und bahnbereitender Wissenschaftler, dessen Leistungen mit zahlreichen Ehrungen gewürdigt wurden; er war aber auch ein begeisterter Lehrer und vor allem eine unvergessliche Persönlichkeit.

Pierre Tardent



Jean-Frédéric Lugeon

1898 – 1976

Le 21 février 1976, le Professeur Jean Lugeon, fils du célèbre géologue Maurice Lugeon, s'éteignait à l'âge de 78 ans.

Originaire de Chevilly (VD), Jean Lugeon fit des études d'ingénieur à l'Université de Lausanne, et obtint le doctorat es sciences techniques de l'EPFZ pour une thèse sur le bilan hydraulique des barrages d'accumulation.

Il entra à l'Institut suisse de météorologie en 1924, fut Vice-directeur de 1941 à 1944 et Directeur de 1945 à 1963, soit jusqu'à l'âge de la retraite.

Deux sujets, parmi d'autres, intéressaient Jean Lugeon, la radiométéorologie avec les parasites atmosphériques et l'aérologie.

L'utilisation des parasites atmosphériques était pour Lugeon un instrument précieux, apte à compléter la carte du temps. Ses mesures au Mont Blanc (Refuge Vallot) en septembre 1928, sa mission à l'oasis d'El Goléa en automne 1929, son expédition à l'Île des Ours pendant l'Année Polaire Internationale 1932 – 1933, alors qu'il était Directeur du Service météorologique polonais, avaient notamment pour but la mise au point d'un système de localisation des orages lointains.

Ses démarches en vue d'associer la Suisse à une expédition polaire pendant l'Année Géophysique Internationale 1957 – 1959 aboutirent favorablement. Notre pays put se joindre à une expédition commune Suède-Finlande-Suisse à Murchison Bay au Spitzberg. Il était possible de repérer pour la première fois par la radiogoniométrie les orages sur une grande partie de l'hémisphère nord en utilisant une base de 4200 km séparant Murchison Bay de Zurich.

L'aérologie est une science passionnante. Jean Lugeon eut l'avantage de pouvoir contribuer à son développement. Les 19 et 20 avril 1939, il réalisa du Zuriberg, les deux premiers lâchers de ballons sondes qui montèrent jusqu'à 18 km d'altitude.

Le 6 août 1940, le Conseil Fédéral décidait la création d'une Station aérologique à Payerne. Jean Lugeon fut chargé de sa planification. L'activité de la Station put débiter en 1942.

Alors Président du groupe de travail pour les radiosondes de la Commission des Instruments de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), Lugeon organise à Payerne en 1950 et en 1956 une "Première et une deuxième comparaison mondiale des radiosondes" dont les succès furent complets.

Ces activités portèrent Jean Lugeon dans les hautes sphères scientifiques suisses et internationales. Il fut:

- Président de la Commission d'électricité atmosphérique de la SHSN de 1932 à 1963;
- Président à plusieurs reprises de la Société Suisse de Géophysique, d'Astronomie et de Météorologie;
- Fondateur du Comité national suisse de l'URSI (Union Radio-Scientifique Internationale), Président de 1930 à 1949, puis Président d'honneur;
- Délégué de la SHSN au Comité de Fondation de l'Institut International de Recherches du Jungfrauoch depuis 1941;
- Délégué de la SHSN au Comité Exécutif de l'URSI dès 1930;
- Président de l'Association Régionale Européenne de l'OMM et Membre du Comité Exécutif de l'OMM. Ses efforts unis à ceux du Conseiller Fédéral Max Petitpierre aboutirent au choix de la ville de Genève comme siège permanent de l'OMM en 1951.

Au cours des 40 années de sa vie scientifique, ce ne sont pas moins de 150 ouvrages que Jean Lugeon a publié.

Jean Lugeon fut Privat-Docent à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich de 1940 à 1948; puis Professeur titulaire dès 1949.

Trois titres de docteur honoris causa lui furent décernés, dont le dernier à fin 1975 par l'Université de Göttingen.

Jean Lugeon resta avant tout un bon Vaudois plein d'humour, attaché à sa terre natale. La maladie devait malheureusement assombrir les années qui suivirent sa mise à la retraite. Néanmoins il recouvra partiellement la santé dans ses dernières années. Ses amis et connaissances retrouvèrent alors le Jean Lugeon d'autrefois.

Jean Rieker

Pierre Mercier

1890 – 1976

Nachruf – verfasst von Eric Bosset – erschienen im Bulletin No 350, S. 189,
der Société vaudoise des sciences naturelles.



Walter Mörikofer

1892 – 1976

Nach einem erfüllten Leben, das sowohl der Wissenschaft, als auch den kulturellen Belangen und der Familie gewidmet war, hat Dr. Walter Mörikofer im 84. Lebensjahr seine Augen am 10. April 1976 für immer geschlossen. Mit ihm hat die schweizerische Meteorologie einen bedeutenden Forscher verloren; wirkte er doch jahrzehntelang am zwar nur kleinen, aber international bekannten und beachteten physikalisch-meteorologischen Observatorium Davos.

Mörikofer erblickte am 24. Mai 1892 in Basel das Licht der Welt. Er studierte dort Mathematik, Physik und Astronomie und erhielt von 1911 – 1918 eine Assistentenstelle am Astronomisch-Meteorologischen Institut. 1929 übernahm er das Davoser Observatorium.

Die Aufgaben waren dort mannigfaltig, speziell auf dem Gebiet der Strahlungsforschung, wo Solarimeter, Aktinometer, Kugelpyranometer, Spektralphotometer für das Ultraviolett und Frigorimeter entweder verbessert oder neu entwickelt wurden. Da in der Beilage zu den Annalen der Meteorologischen Zentralanstalt für das Jahr 1963 im Heft: "100 Jahre Meteorologie in der Schweiz" der Aufgabenkreis des Davoser Observatoriums und die wichtigsten Arbeiten seiner Mitarbeiter ausführlich zusammengestellt sind, können wir auf eine entsprechende eingehende Darstellung verzichten; zudem wäre es schwierig, in gedrängter Form die 250 Publikationen des Observatoriums, von denen etwa die Hälfte aus der Feder seines Leiters stammt, zusammenzufassen, da das Spektrum weit streut. Es galt ja nicht nur Strahlung zu messen, sondern diese in den Dienst der Gesundheit zu stellen, und dementsprechend war die Bioklimatologie eines der

Hauptarbeitsgebiete Mörikofer. Er wirkte sowohl durch seine Veröffentlichungen als auch durch viele Vorträge und die Arbeit in nationalen und internationalen Vereinigungen. So war er z.B. von 1929 bis 1950 Präsident der naturforschenden Gesellschaft Davos und leitete umsichtig als Jahrespräsident die Versammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos 1950, vor der er in einem Hauptvortrag das ganze Problem der Bioklimatologie des Föhns erläuterte. Dabei kam ihm nicht nur sein wissenschaftliches Denken, sondern auch seine hohe sprachliche und organisatorische Begabung zugute. Neben dem Wirken in der breiten Öffentlichkeit gab es im Rahmen der vielen Kommissionen, denen er als Mitglied, vielfach auch als Präsident, vorstand, ein ausgedehntes Arbeitsfeld, z.B. im Schweiz. Landeskomitee für die internationale Union für Geodäsie und Geophysik, dann aber auch auf bioklimatologischem Gebiet, im Fachausschuss für den medizinischen Ausbau der Kurorte.

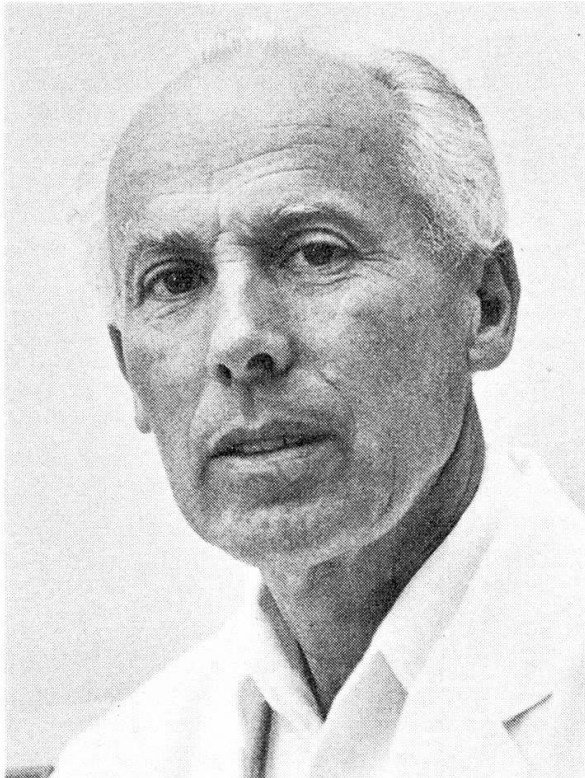
Auf bioklimatologischem Gebiet befasste sich Mörikofer während vieler Jahre mit der Beurteilung der Klimaverhältnisse sämtlicher heilklimatischer Kurorte der Schweiz. Während dieser Zeit übernahm er die nicht immer leichte klimatologische Begutachtung, welche nicht nur Fachwissen, sondern auch den Einsatz seiner überzeugenden Persönlichkeit erforderte.

Mörikofer bemühte sich aber nicht nur um die schweizerischen Belange. Schon bald nach dem Krieg war es sein Bestreben, die gestörten Beziehungen zwischen den französischen, deutschen und englischen Wissenschaftlern wieder neu aufzunehmen und wieder fruchtbar zu machen, vor allem im Comité International de la lumière, der heutigen Association Internationale de Photobiologie, deren Präsident Mörikofer von 1951 – 1954 war.

Das Davoser Institut führte auf dem Gebiet der Strahlungsmesstechnik seit den Dreissigerjahren eingehende internationale Vergleichsmessungen durch, so z.B. 1959 und 1964 für die Standardpyrheliometer aller Kontinente.

Zusammen mit F. Steinhauser übernahm Mörikofer die Redaktion der 1948 von ihnen gegründeten Zeitschrift "Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie".

Max Schüepp



Siegfried Rosin

1913 – 1976

Am 11. März 1976 ist Professor Siegfried Rosin, Ordinarius für Genetik und Oekologie und Direktor des Zoologischen Instituts der Universität Bern, in seinem 63. Lebensjahr an den Folgen eines Lymphkrebsses gestorben. Mit ihm ist ein sehr geschätzter Lehrer, ein prominenter Forscher und für uns alle ein warmherziger und geachteter Kollege und Freund dahingegangen.

Siegfried Rosin studierte in Bern Biologie und promovierte 1943 mit einer Dissertation, die er unter der Leitung von Professor Fritz Baltzer auf dem Gebiete der Entwicklungsphysiologie von Amphibien durchführte. Gegenstand der Arbeit war die Entstehung von Pigmentmustern bei Amphibienlarven. Schon im Rahmen dieser ersten Forschungen hatte sich Siegfried Rosin der mathematischen Analyse biologischer Phänomene zugewandt. Seine 3 Jahre später eingereichte Habilitationsarbeit über den Bau und die Entstehungsweise der Grenzlamelle in der Haut von Amphibien war noch stark von der Baltzer'schen Forschungsrichtung geprägt, offenbarte aber von neuem die besondere Begabung von Rosin, biologische Probleme mit mathematischen Methoden anzugehen. Dieses Interesse für die mathematischen Aspekte seines Faches sollte seine ganze spätere Laufbahn kennzeichnen.

Eine entscheidende Neuorientierung erfuhr seine wissenschaftliche Tätigkeit dadurch, dass er in den Jahren 1945 und 1946 zwei Semester beim kürzlich verstorbenen Professor Ernst Hadorn in Zürich verbrachte als Forschungsassistent. Hadorn wirkte hier als ehemaliger Schüler von Baltzer noch als Entwicklungsphysiologe, aber bereits auch schon als Genetiker. Mit der Rückkehr Rosins hielt am Berner Zoologischen Institut der Forschungs-

zweig der Drosophila Genetik mit Arbeiten über Genlokalisierung und Genphysiologie Einzug.

Die von der Drosophila Genetik aufgeworfenen Probleme statistischer Art vermochten den Nebenfach-Mathematiker Rosin bald zu faszinieren. Angeregt durch PD Arthur Linder, jetzt Professor im Laboratorium für mathematische Statistik in Genf, führte Rosin in der Folge die Denkweise und die Methoden der Biostatistik in den Bereich der Biologie ein. Stets wirkte er im Kreise seiner Studenten und Kollegen als erfahrener und hilfsbereiter Berater in allen Fragen der biologischen Statistik. Zu Recht wurde er anlässlich seines 60. Geburtstages, den er 1973 feierte, von seinem Kollegen Rudolf Weber als Pionier der Biostatistik bezeichnet.

Diese unangefochtene Kompetenz in den Bereichen der Genetik und Statistik prädestinierten Siegfried Rosin zur Durchführung einer umfangreichen Untersuchung über die Verteilung der A B O – Blutgruppen und Rhesus-Faktoren in der Schweiz. Diese Arbeit wurde ihm vom Kuratorium der Julius-Klaus-Stiftung übertragen und wurde von der Schweizerischen Kommission für Humangenetik patronisiert. Untersuchungsmaterial waren die Blutgruppenkarten von über 200'000 schweizerischen Wehrmännern. Dank der Entwicklung geeigneter statistischer Verfahren konnte Rosin erstmals eine detaillierte Genkarte für die Schweizer Bevölkerung aufstellen. 1956 wurde die Arbeit im Archiv der Julius-Klaus-Stiftung veröffentlicht, und im gleichen Jahr wurde dem Autor hierfür der Marcel-Benoist-Preis verliehen.

Es wäre verfehlt, aus den bisherigen Ausführungen zu schliessen, Rosin sei in erster Linie ein Theoretiker gewesen. Anlässlich zahlreicher Exkursionen, in von ihm durchgeführten Studienlagern, z.B. im Pfynwald, bei praktischen Arbeiten an Wirbellosen usw. pflegte und vermittelte er stets eine direkte und lebendige Beziehung zur freien Natur. So wurde er zum Bahnbrecher einer ökologisch orientierten Zoologie an seinem Institut. Hand in Hand damit entwickelte sich sein eigenes Arbeitsgebiet, ursprünglich genetische Forschung an Drosophila, zu einer ökologischen Genetik, in welcher ökologische und populationsgenetische Untersuchungen an den Zuckmücken Chironomus vorherrschten. Zahlreiche Diplomanden und Doktoranden sind in den vergangenen bald 2 Jahrzehnten unter seiner Leitung in dieses Arbeitsgebiet hineingewachsen. Es bildet heute noch den Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten der im Geiste Rosins weiterbestehenden Abteilung.

Siegfried Rosin wurde 1954 zum ausserordentlichen und 1964 dank einem persönlichen Beitrag des Schweizerischen Nationalfonds zum ordentlichen Professor befördert. Er war Mitglied zahlreicher wissenschaftlicher Gesellschaften, insbesondere der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, der Schweiz. Zoologischen Gesellschaft, der Schweiz. Gesellschaft für Vererbungsforschung und der Schweiz. Kommission für Humangenetik, der Schweiz. Biometrischen Gesellschaft und der Bernischen Naturforschenden Gesellschaft. Im Rahmen der Fakultät wirkte er während zwei Amtsperioden als Sekretär. Seit bald 3 Jahren leitete er als Direktor die Geschäfte des Zoologischen Instituts. Diese Aufgabe hat er mit ruhiger und unaufdringlicher Sorgfalt und Ueberlegenheit bis wenige Stunden vor seinem Tode erfüllt. Von der Bürde, welche ihm seine Krankheit in seinem letzten Jahr auferlegte, liess er dabei, wie auch in Lehre und Forschung, nur wenig

durchblicken, obschon seine Kräfte nachliessen und er um seinen Gesundheitszustand wohl Bescheid wusste. Er stand dem Leiden, das ihn zermürbte, realistisch gegenüber, so wie er allen natürlichen Gegebenheiten und menschlichen Problemen stets mit sachlicher Ruhe begegnete.

Siegfried Rosin war einer jener Menschen, die trotz ihrer stillen und nüchternen Wesensart und dem manchmal zu geringen Selbstvertrauen unersetzlich bleiben. In seiner Familie, im Institut und im weiteren Kreise seiner Fachkollegen hat er eine grosse Lücke hinterlassen.

Pierre Tschumi

Leopold Ruzicka

Ehrenmitglied der SNG
1887 – 1976

Nachruf – verfasst von W. Keller-Schierlein – erschienen im ETH-Bulletin,
Nr. 127, Jahrgang 10, 22. Dezember 1976.

Walter R. Schalch

1905 – 1976

Nachruf – verfasst von G.A. Wanner – erschienen in den Basler Nachrichten,
31.3.1976.



Hans Schmid

1917 – 1976

Hans Schmid, der Präsident des Comité Suisse de la Chimie (CSC), verstarb ganz unerwartet am 19. Dezember 1976 kurz vor seinem 60. Geburtstag. Als ausgezeichnete Forscher und Lehrer setzte er sich zielbewusst für nationale und internationale Aufgaben ein und leistete einen wichtigen Beitrag zum wissenschaftlichen Ansehen der Schweiz.

Hans Schmid wurde am 24. März 1917 in Gränichen im Kanton Aargau geboren. 1926 zog er mit seinen Eltern nach Wien, wo er die Mittelschule und die Universität besuchte. Schon 1941 schloss er das Studium bei Prof. Ernst Späth mit einer Dissertation über Cumarine ab. 1942 kehrte er in die Schweiz zurück und wurde Assistent bei Prof. Paul Karrer an der Universität Zürich. Er habilitierte sich 1944 und wurde 1947 Extraordinarius. Im gleichen Jahr heiratete er Käthe Appenzeller, die ihm in glücklicher Ehe ein wirkliches Zuhause schuf und ihm damit das Vollbringen eines Uebermasses an Leistungen ermöglichte. 1959 wurde er als Nachfolger von Paul Karrer Ordinarius und Direktor des Organisch-Chemischen Instituts der Universität Zürich. Er baute seine Abteilung mustergültig aus und führte während 17 Jahren eine der besten Forschungsstätten. 1968 wurde Hans Schmid Mitglied der Deutschen Akademie der Naturwissenschaften Leopoldina, 1970 – 72 war er Präsident der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft, 1972 Präsident des CSC, 1974 wurde ihm der Dr. h.c. der Universität Fribourg verliehen.

Bei der Neugestaltung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft überzeugte Hans Schmid alle im CSC zusammengefassten wissenschaftlichen Gesellschaften zum Beitritt. Im Council der IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) sprach er ein massgebliches Wort. Ein wichtiges Anliegen war ihm die Förderung des 'Image' der Chemie. Mit ganzer Kraft setzte er sich für die Aufrechterhaltung des internationalen Austausches von Dozenten und Doktoranden ein. Er war unermüdlich, sehr konzilient und besass die Gabe, sofort auf den Kern jeder

Sache vorzustossen. Dabei löste er viele auch undankbare Aufgaben, wie z.B. die langwierige Ausarbeitung neuer Statuten.

Hans Schmid war ein chemiebegeisterter und begeisternder Forscher und Lehrer und einer der bekanntesten Chemiker der Schweiz. Seine 450 gewichtigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen erschienen zur Hauptsache in den *Helvetica Chimica Acta*. Hauptarbeitsgebiete waren die Aufklärung von Naturprodukten aus Pflanzen und Insekten, mechanistische Studien, photochemische Untersuchungen und der Aufbau neuer Ringsysteme. Die prägnantesten Naturstoffarbeiten behandelten südamerikanische Pfeilgifte aus Curare-Alkaloiden vom Typus des Toxiferins. Sie haben in der Medizin zur Erschlaffung und Stilllegung der Muskulatur bei Operationen eine grosse Bedeutung erlangt. Die mechanistischen Studien begannen mit dem ausserordentlich gründlichen Studium der Claisen-Umlagerung und kulminierten in breit angelegten Untersuchungen über den sterischen Verlauf sigmatropischer Umlagerungen.

Seine zahlreichen Freunde und Schüler werden das Andenken Hans Schmidts als hervorragenden Forscher und Dozenten und als liebenswerten, zielbewussten Menschen hochhalten.

Otto Isler



Heinrich Uttinger

1907 – 1975

Unter den Meteorologen gab es bis vor kurzem nur wenige, die sich der Klimatologie, d.h. der statistischen Bearbeitung von Beobachtungsreihen, widmeten. Unter diesen wenigen hat sich Heinrich Uttinger wie kaum ein anderer persönlich für die Qualität und sachgemässe Bearbeitung der Beobachtungen eingesetzt. Bewunderung verdient auch sein autodidaktisches Eindringen in die Methoden der mathematischen Statistik. Ein Hochschulstudium hat er sich aus finanziellen Gründen nicht leisten können.

Heinrich Uttinger stammte aus Benken (ZH), wurde jedoch in Stuttgart geboren. Dort absolvierte er die Bürgerschule. Nach der Uebersiedlung seiner Eltern in die Schweiz besuchte er die Realschule in Schaffhausen. Da seine Begabung für Mathematik und Naturwissenschaften bald auffiel, wurde er 1923 – 1927 am Seminar in Küsnacht (ZH) zum Primarlehrer ausgebildet. Vielleicht erweckte sein Lehrer, Dr. Hans Frey, dort schon sein Interesse für die Meteorologie. Nach Erwerbung des Lehrpatentes musste er sich jedoch zunächst mit einer Magazinerstelle in einer Fabrik begnügen. Den Lehrerberuf übte er nur während eines halben Jahres in Wildensbuch (ZH) aus.

1929 trat er, von seinen Seminarlehrern warm empfohlen, als Archivist und Statistiker an die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt in Zürich über. Diesem Institut widmete er seine Arbeitskraft während voller 40 Jahre. Im Laufe der Zeit rückte er zum Adjunkten auf. 1934 heiratete er Rosa Arndt, eine damalige Mitarbeiterin des Institutes.

Seine Gründlichkeit erwies sich schon bei der Inspektion von Beobachtungsstationen und bei der Einführung neuer Beobachter. Er pflegte gerne

den persönlichen Kontakt mit den Beobachtern. Den Hauptteil seiner Zeit verwendete er auf die Kontrolle und Bearbeitung der Monat für Monat von sämtlichen meteorologischen und Regenmess-Stationen einlaufenden Tabellen und die sorgfältige Darstellung der Ergebnisse in den Monatsberichten und Jahrbüchern. Daneben verdanken wir ihm aber erstaunlich viele wissenschaftliche Publikationen (insgesamt etwa 750 Druckseiten) und mehrere Klimakarten. Am bekanntesten ist seine auf Grund der Messungen von 1901 – 1940 bearbeitete, vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband herausgegebene Niederschlagskarte der Schweiz. Eine verbesserte Neuauflage dieser Karte schuf er für den Atlas der Schweiz.

Ueber die Landesgrenzen hinaus fanden seine Untersuchungen über den Einfluss von Höhe und Orographie auf die Niederschläge in den Alpen Beachtung. Charakteristisch für seine Neigung zu statistischen Erörterungen sind eine Studie über U-förmige Häufigkeitsverteilungen, wie sie bei der Bewölkung auftreten, und die Anwendung des von G. Polya entwickelten Begriffes der Ansteckungswahrscheinlichkeit auf die Dauer von Niederschlagsperioden.

Leider war es ihm nicht vergönnt, die begonnenen und geplanten Arbeiten restlos zu Ende zu führen, da sich in den letzten Jahren seiner beruflichen Tätigkeit bereits ein heimtückisches Nervenleiden bemerkbar machte. Seine Krankheit verschlimmerte sich nach seiner vorzeitigen Pensionierung. Anderthalb Jahre nach dem unerwarteten Hinschied seiner ihn aufopfernd umhегenden Gattin erlöste ihn der Tod von seinen Beschwerden.

Heinrich Uttinger nahm zeitlebens eifrig Anteil am politischen und kulturellen Leben. Als Liebhaber und Kenner der Barockmusik legte er sich eine grosse Plattensammlung an, die ihn dann im letzten Lebensabschnitt seine Krankheit zeitweise vergessen liess.

Walter Kuhn

Jürg Wartenweiler

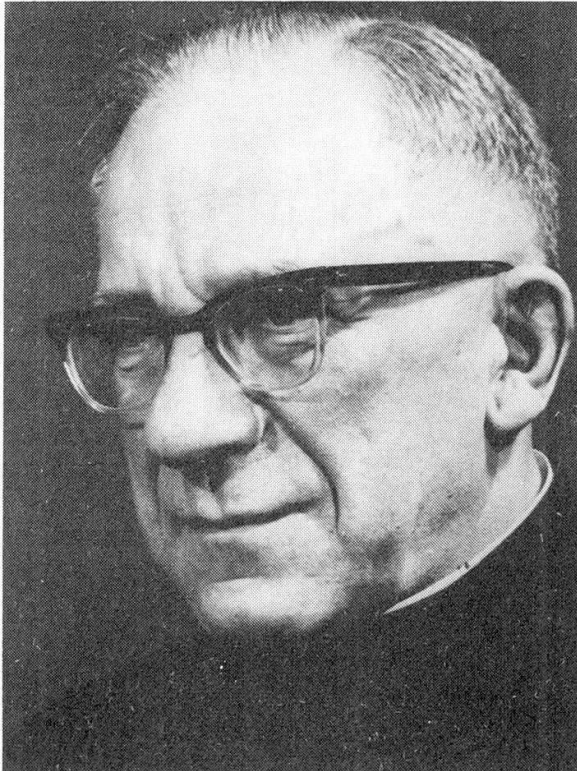
1915 – 1976.

Nachruf – erschienen im ETH-Bulletin, Nr. 127, Jahrgang 10, 22. Dezember 1976

Max Weber

1916 – 1976

Nachruf – erschienen im ETH-Bulletin, Nr. 127, Jahrgang 10, 22. Dezember 1976 – Verfasser A.W. NZZ 16.12.1976.



**Pater Kanisius
Zünd OSB**

1903 – 1976

Am Abend des 4. August ist im Spital Einsiedeln P. Kanisius Zünd OSB in seinem 74. Lebensjahr an den Folgen eines Schlaganfalls gestorben.

P. Kanisius Zünd wurde am 16. Februar 1903 in St. Gallen geboren. Er besuchte in St. Gallen die Volks- und Realschule, in Einsiedeln das Gymnasium. Im Jahre 1925 trat er ins Benediktinerkloster Einsiedeln ein, wo er 1929 zum Priester geweiht wurde. Einige Jahre später benötigte die Klosterschule dringend einen Nachfolger für den unerwartet verstorbenen Chemielehrer. Die Wahl fiel auf P. Kanisius. Er wurde nach Freiburg geschickt, wo er Physik und Chemie studierte.

Bis wenige Tage vor seinem Tod, während mehr als 40 Jahren, unterrichtete P. Kanisius an der Klosterschule vorallem Chemie. In der Klostergemeinschaft trug P. Kanisius eine reiche Bürde von Aufgaben. Er war Musikbibliothekar und Theatermann. Als solcher hatte er grosse Verdienste an den Aufführungen von Calderons Grosse Welttheater und den bekannten Konzertaufführungen in der Klosterkirche. Er war das technische Universalgenie des Klosters, plante und reparierte alles was mit Licht, Ton, Wärme oder Elektrizität zusammenhing. Wo immer man in Not war, P. Kanisius wusste nicht nur Rat, er legte auch gleich Hand an.

All seine Hilfsbereitschaft, sein breites Wissen, seine Zuverlässigkeit und sein unvergleichlicher Humor machten P. Kanisius zu einer weitherum gefragten und geschätzten Persönlichkeit.

Als 1967 P. Cölestin Merkt – er hatte die Jahresversammlung der SNG für 1968 in Einsiedeln übernommen – ganz unerwartet starb, war es wieder einmal P. Kanisius, der in die Lücke zu springen hatte. Er wurde eiligst

zum Mitglied der SNG und gleichzeitig zum Tagespräsidenten der Jahresversammlung gemacht. In wenigen Monaten organisierte P. Kanisius eine unvergessliche Tagung. Als Nachfolger von P. Cölestin leitete er auch die Geschicke der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft bis wenige Monate vor seinem Tod.

P. Kanisius hat als Mönch sein Leben und seine ganze Kraft in den Dienst der Mitmenschen gestellt. In diesem Sinne wird uns P. Kanisius stets in Erinnerung bleiben.

A. Bettschart

Weitere verstorbene Mitglieder
Autres membres décédés
Altri soci defunti

Altherr, Edmond, Aigle

Anliker, Hans, Wädenswil

Gasche, Ernst, Basel