

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 139 (1959)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

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: 03.04.2026

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

A.

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Leere Seite
Blank page
Page vide

Discours d'ouverture du président annuel de la S.H.S.N.

par

le Prof. D^r ANDRÉ GIRARDET (Lausanne)

Monsieur le chef du Département de l'instruction publique
et des cultes,
Mes chers collègues,
C'est à vous, que je m'adresse tout d'abord.

Que ce soit par les sciences mathématiques, physiques ou naturelles, nous avons tous, ici présents, le même but, celui de «mieux connaître les secrets de la nature qui nous entoure», pour m'exprimer comme le firent déjà ceux qui, il y a 144 ans, décidèrent de fonder cette société de savants. Tous, nous payons notre tribut à la science, sans jamais donner à ce mot la même interprétation que notre voisin. En effet, ce terme vague agit avant tout par les sentiments dont il est enveloppé; son prestige est considérable; on en proclame l'utilité, la beauté, mais, au fait, de quelle science s'agit-il? Cela change avec la mode du jour: pendant des siècles, l'endoctrinement à une philosophie stérilisante empêcha toute évolution; puis, les humanités, seules prisées pendant fort longtemps, ont peu à peu fait place aux sciences naturelles; on a observé, classé, étiqueté; c'est maintenant le tour des sciences physiques; on parle beaucoup d'atomes, d'électrons et de bien d'autres toutes petites choses.

La science est un ensemble très vaste, dont le but est la connaissance des lois de la nature; ceux qui s'y adonnent, les savants, font des découvertes qui, toutes, augmentent notre puissance et notre volonté de connaître. La science est donc en expansion, tout comme le monde dans lequel nous vivons. La science continue la science, elle se renouve constamment, elle fonde le fondamental, puis prouve son inexactitude en le renouvelant.

En un temps où la science transforme si profondément, pour le meilleur et pour le pire, la vie humaine, il est naturel de s'intéresser au savant, au fonctionnement de son esprit et à la nature de sa recherche.

Le savant est un homme qui a des connaissances étendues; c'était un homme libre, vis-à-vis des contingences extérieures, mais asservi à l'idéal qu'il s'efforçait d'atteindre; il était un prêtre de la science. Mais il n'y a pas de religion sans sacrifice; la divinisation de la science dure

tant que l'enfance psychologique du savant n'est pas achevée, jusqu'au jour où, regardant en soi, il s'estime son égal, un savant accompli. Mais cela ne saurait jamais être; il restera toujours dans la dépendance de la science; s'il se persuadait du contraire, il blasphémerait. Alors, ne pouvant l'asservir, donc «la tuer», il essaiera de *se tuer* de travail, il n'est plus qu'un scientifique, une machine à être savant. Seul le vrai savant est homme libre.

Cette liberté était encore possible au siècle dernier; de nombreux adeptes des sciences cherchaient, tout en vaquant à leur profession; ces chercheurs sont toujours moins nombreux. En effet, puisque la science est en expansion, il devient toujours plus difficile de tout savoir sur beaucoup de choses; on en est réduit à savoir une foule de choses sur un seul sujet et même sur un tout petit sujet; on devient un *spécialiste*. Cependant, les découvertes faites par un grand nombre de ces *spécialistes* peuvent encore être assimilées par un homme qui saura faire la synthèse de tous ces résultats. Il nous faudrait beaucoup de ces hommes, parce qu'il est fréquent que des découvertes effectuées dans un domaine de la science aient de notables répercussions dans des domaines très différents. C'est déjà une raison suffisante d'activer la diffusion de toute nouvelle acquisition scientifique.

Si les chercheurs sont de moins en moins nombreux à mériter le titre de *savants* dans son ancienne acception, ces super-spécialistes ne représentent plus la figure magique qu'était autrefois le savant, chargé de découvrir les secrets du monde. S'il ne sont pas au service de l'Etat, ils le sont à celui de gigantesques usines, envers lesquelles ils ont une responsabilité: la recherche est devenue une occupation de plein temps; nous sommes les témoins d'une dévaluation pénible d'une des activités les plus hautes de l'esprit humain.

Mais, si les savants «en surface» ont diminué en nombre au profit des savants «en profondeur», par quoi je n'entends évidemment pas que leur savoir soit de moins grande importance, leur mode de travail reste en principe le même; simplement, au lieu de prendre un objectif à très grand champ de vision, ils s'arment de loupes, de microscopes ou de télescopes de plus en plus puissants.

Si l'acte créateur échappe à tout système stéréotypé, il y a des dons utiles à l'invention: le bon sens, la mémoire, l'enthousiasme, la capacité de renoncement.

Je pourrais m'étendre longuement sur les conseils donnés aux chercheurs par des génies comme aussi par des inventeurs chevronnés; sans aller bien loin, j'aurais pu «passer au crible» à votre intention les lettres de LIEBIG ou les écrits de CARL ERNST VON BAER, les souvenirs de LE CHATELIER, certaines des Rencontres internationales de Genève, ou même la brochure, si utile au début de ce siècle, de RAMON Y CAJAL. Mais les conditions de travail du chercheur se modifient si rapidement que nous serions bien en retard avant la fin de cet exposé déjà. RAMON Y CAJAL, par exemple, ne préconisait-il pas le travail solitaire et n'était-il pas un contempteur du travail en équipe, prôné et même nécessaire de

nos jours ? En résumé, le savant, le chercheur de tout calibre, doit *observer* fidèlement et sans idée préconçue, pour *constater* des faits ; puis, ayant fait intervenir le raisonnement, à la suite d'une interprétation anticipée des phénomènes observés, il institue l'expérience qui, dans l'ordre logique de ses prévisions, devrait fournir la réponse qui leur servira de contrôle. De l'expérience résultera l'apparition de phénomènes provoqués ; les ayant constatés, l'expérimentateur échafaudera une hypothèse de travail pour la suite de ses recherches. Autant d'occupations qui tendent à la découverte de quelque chose d'ignoré jusqu'alors ; on ne fabrique pas des théories avec du vent.

Je n'insisterai pas non plus sur la part de l'inconscient dans le travail du savant. Une découverte, en apparence subite, n'est que la conséquence d'un énorme travail de concentration cérébrale, puis de tamisage, d'associations, de combinaisons d'idées dans le subconscient, après une préparation lucide intense. On peut comparer ce processus à ce qui se passe dans les machines à calculer ; mais, tandis que celles-ci donneront un résultat, que les données numériques de départ aient été justes ou fausses, le subconscient n'arrive à une découverte que si les données qu'il avait reçues étaient exactes.

Il faut donc savoir choisir parmi les idées qui se présentent à l'esprit, parmi les faits que l'on croit avoir observés exactement, ceux qui seuls permettront d'aboutir. Mais il faut aussi savoir choisir le sujet qui nous convient, il faut avoir le goût scientifique ; *il y a donc un élément affectif important dans la création scientifique.*

Un moyen de regagner une part de cette liberté, que la science moderne refuse au chercheur, serait de pouvoir se décharger sur d'autres, les contemplateurs, rats de bibliothèques et polyglottes, les organophiles, ceux qui veulent posséder, sous clefs, tous les appareils, mais ne jamais s'en servir, de tout ce qui nous bride dans l'exercice de notre vocation de savant, mais au moins autant de l'administration, cette charge si lourde, dans nos universités ; puissent les projets du Fonds national, dans ce sens, apporter un soulagement à quelques-uns de nos successeurs.

Faut-il faire de la recherche *pour* alimenter la technique, pour maintenir viable l'industrie d'exportation ? Il faut souhaiter que le plus grand nombre de savants puissent se consacrer aux sujets pour lesquels ils sont prédestinés, sans avoir à penser «industrie» ; *il faut souhaiter pour eux qu'ils puissent faire de la recherche vraiment désintéressée.* Il sortira toujours de leurs découvertes quelque chose d'utilisable dans l'industrie mais, le plus souvent, ce ne sera pas eux, mais d'autres qui le découvriront longtemps après.

Cela ne veut pas dire qu'un savant ne fera pas de découvertes dont les conséquences immédiates seront peut-être catastrophiques dans le domaine de la guerre, cruauté, que sais-je encore. La science doit-elle, pour cela, avoir mauvaise conscience ? *Une vocation scientifique est irrésistible ; il y a chez le savant une volonté, un désir de connaissance, qui sont tout à fait indépendants du besoin de domination.*

Lorsque les découvertes parviennent entre les mains de ceux chez qui ce défaut prédomine, ces «spécialistes» l'utiliseront à des buts que les savants réprouveront. Mais le savant est un adulte qui, au lieu d'avoir cette soif de connaissance à l'état latent seulement, *la possède aussi pure que nous la connaissons chez l'enfant*. Il est impossible de freiner le travail irrésistible de l'esprit du chercheur.

Il est indispensable que le public soit pénétré de cette idée, que la science en général est une discipline méthodique qui exige une patiente assiduité; il n'y a pas de miracles immérités. La science sera toujours plus appelée à fournir la solution de problèmes qui préoccupent le monde. Les savants feront de leur mieux, mais il y aura des déceptions. Si le public n'est pas persuadé à l'avance que les échecs possibles viennent des difficultés à résoudre, il croira à de l'indifférence ou, même pis, à de l'incompétence.

Il est donc nécessaire que les hommes de science qui aiment et savent communiquer avec l'homme de la rue s'efforcent d'instruire le grand public des lignes principales du mouvement scientifique. Il leur faut pour cela avoir avant tout des idées claires et s'en tenir à ce que l'homme moyen peut comprendre et goûter. Mais il ne faut ni le flatter, ni se l'aliéner, d'autant plus que ce sont les fonds publics qui défraient de plus en plus la recherche scientifique; il est indispensable que le profane n'acquière des notions fausses, ni sur la science, ni sur les problèmes scientifiques examinés, ni sur le comportement, les idéaux et les réalisations des hommes de science. Nous devons condamner le sensationnel et le faux, et faire bon accueil à ceux qui viennent chercher auprès de nous la vérité.

Nous pouvons définir en termes plus scientifiques, plus modernes, les facteurs de tendance qui sont à la base de chacun de nous et dont l'épanouissement parfait donnerait le savant idéal; nous verrons rapidement à quelles aberrations la prédominance ou l'insuffisance de chacun de ces facteurs peut conduire:

1. Il y a le facteur *avidité*, cette tendance toute naturelle, de placer le *moi* au centre de toutes les préoccupations de l'individu, le besoin de faire entrer en lui le monde extérieur et de le transformer en sa propre substance. C'est ce besoin de *connaître* que j'ai déjà mentionné. Or, on peut lutter pour obtenir et *utiliser*, ou pour obtenir et *conserver*, pour ne mentionner que les deux extrêmes. Pour VAUVENARGUES, une image assez fidèle du savant était: *un homme vorace et qui digère mal*. La curiosité pour les faits peut n'être plus qu'un besoin de collectionner des recettes; la consommation de nourriture intellectuelle, qui accroît nos forces, élargit notre champ d'action, peut n'avoir pour conséquence que la formation de ce spécialiste qui se constitue en centre autonome, autour duquel tous les autres s'organisent, qui ne connaît qu'un seul sujet de recherche, qu'il faut seul citer: chacun doit passer par *moi*, pour connaître ce que *j'ai* fini par comprendre. Ainsi, une tendance naturelle peut pousser l'individu à s'assurer une position agréable, indépendante; elle peut inspirer le noble désir de se perfectionner indéfiniment

ou de collectionner pour attirer l'attention des autres, ou enfin être à l'origine du désir condamnable de soumettre les autres à sa puissance. Ce serait la conséquence d'une exaltation insensée de ce caractère fondamental de l'homme; la science est partie à la conquête de la clarté, mais les hommes en ont fait souvent une conquête du *pouvoir* sur les choses, si ce n'est sur les autres hommes. A ces scientifiques, qui veulent, avec raison, que leur gagne-pain serve à quelque chose de plus encore qu'à se nourrir, il manque de savoir choisir.

2. A un premier entassement de connaissances sans discernement, doit succéder l'assimilation, ce qui implique que l'on sache trier. Ce sont les *intérêts sensoriels*, selon la terminologie de GASTON BERGER, qui le permettent. Les choses, accaparées à notre profit, doivent nous plaire, en dehors de leur utilité même. Mais, trop jouir de ce que l'on possède, c'est dérober du temps et des forces à l'action, c'est se perdre dans une contemplation qui est un dépassement de l'instinct fondamental de possession.

Ces deux premières tendances sont complémentaires: il faut aimer la science pour en ressentir la beauté, sinon le désir de perfectionnement incessant, qui n'est plus guère qu'un embellissement, devient du narcissisme. Le savant qui y cède est un isolé, perdu dans la masse.

3. Pour que l'épanouissement de la personnalité soit complet, que son plaisir ne soit pas un acte inachevé, il faut y faire participer les autres, enseigner, publier, avoir ce que les caractérologues appellent la *tendresse*. Celui qui la possède, montre qu'il a dépassé les incertitudes et les ambivalences de la jeunesse. Il y faut une bonté naturelle, qui nous permette de reproduire en nous les émotions et les sentiments des autres. Ce facteur fait défaut chez tous ces savants que l'on voit malheureux, dépourvus de toute vie intérieure, faibles envers eux-mêmes, mais durs et sans générosité envers leurs prédécesseurs.

4. Enfin, le savant devrait posséder la *passion intellectuelle*, qui est un désir de comprendre toutes choses en dehors de toute utilité pratique, de tout souci d'application, qui se détourne du détail pour s'ouvrir à la raison qui les explique. Cette tendance est nécessaire à freiner des ardeurs intempestives intéressées. Mais la passion intellectuelle, lorsqu'elle est exagérée, peut faire craindre au savant de dénouer trop tôt le problème qu'il s'est posé, tant il jouit d'en rechercher la solution, voire de la retarder...

Le *vrai* savant peut considérer la vie de très haut, oublier les petites choses de l'existence, il reste un être authentique. Son amour du prochain, sa tendresse comme nous le disons maintenant, dépasse celui des meilleurs. Sa passion occupe en lui l'espace et le temps, il ne fait pas de différence entre ce qui est près et ce qui est loin, il songe autant au bien de ceux qui vivent que de ceux qui viendront. Il ne se limite naturellement pas à lui-même, mais pas non plus au cercle de ses proches, ni même aux frontières de son pays. Son amour du prochain ne fait plus aucune différence; il veut faire partager ses découvertes à tout le monde, même et surtout à ceux auxquels il devrait les refuser, parce que les intérêts

supérieurs de son pays s'y opposent. Mais nous savons tous que le peuple reconnaît mal ses savants et que ceux-ci en souffrent.

Un excès de ces tendances que nous avons décrites, engendre un déséquilibre et consacre la névrose. C'est ainsi que des hommes comme FUCHS et bien d'autres quittent leur pays, plutôt que de voir retirer à qui que ce soit la connaissance de leurs découvertes. Leur excès *maladif* de tendresse n'est pas compensé par le sens moral, la réflexion politique, le discernement.

Mais il ne faut pas pour autant mépriser ces gens-ci. A la mort de l'homme son œuvre peut survivre. Nous trouvons, à d'autres époques, plus d'un cas semblable : les grands humanistes du 16^e siècle, les grands philosophes du 18^e. C'est toujours l'histoire du pendule, de la spirale, des grandes révolutions astrales. Nous nous retrouvons semble-t-il, au même point de départ, mais à une autre altitude. Le caractère personnel, les conséquences de l'hérédité, de l'environnement, sont là avec leurs corollaires ; nous sommes nés sous le même signe que des milliers d'autres personnes ; mais les positions respectives des astres ont changé, l'influence de chacun d'eux sur nous est différente, en cela même que chacun d'eux est autrement influencé par ses voisins célestes.

La recherche scientifique exige et développe la rapidité de la pensée, l'une des voluptés intellectuelles du savant ; la science moderne provoque l'accélération du mécanisme psychique, une nécessité de la culture scientifique. Le savant coordonne des connaissances dans son inconscient, avec une vitesse souvent inouïe. Les sciences progressent à telle allure qu'elles risquent d'être paralysées par l'ampleur même de leurs acquisitions, si l'on n'y trouve pas remède. Le chercheur le plus spécialisé ne trouve plus le temps de lire tout ce qui se rapporte à sa spécialité. Comment résoudre le problème de la documentation scientifique ? Il est impossible d'accroître indéfiniment nos effectifs scientifiques et techniques. Il faut tendre à augmenter la productivité de ceux que nous avons, mettre toujours plus chacun à la place où il est le mieux adapté, supprimer les besognes fastidieuses par des machines automatiques. La machine prend toujours plus de place dans le laboratoire de recherche ; la mécanisation s'installe peu à peu dans le domaine si important de la documentation ; on parle même de l'essai de machines à traduire électroniques...

Dans cette cavalcade exacerbée de la science, des savants et des scientifiques de toutes sortes et dans tous les domaines, que fait le *pharmacien* ? Qui est-il vraiment ? Et, que devient-il ?

Alors que savants modernes, chercheurs et spécialistes s'efforcent chacun d'être le premier à trouver ce qu'ils savent que bien d'autres cherchent en même temps qu'eux, le pharmacien ne doit jamais être pressé. Il manipule des poisons, non pas pour les voir réagir dans des éprouvettes, mais pour les dispenser à des hommes qui les consommeront ; il est responsable d'innombrables vies humaines, il appartient aux professions médicales, et relève des sciences exactes.

La pharmacie est issue de la médecine : FRÉDÉRIC II de Sicile, petit-fils de BARBEROUSSE, sépara pour la première fois, en 1242, les médecins

des pharmaciens, en interdisant aux premiers la confection des médicaments, réservant cette occupation aux seuls pharmaciens, mais sous la surveillance des médecins.

Le médecin n'était alors qu'un pur théoricien, qui étudiait et surtout discourait sur les écrits des Anciens et abandonnait tout le côté pratique de la médecine à des subalternes, les pharmaciens déjà mentionnés, les chirurgiens, les barbiers, les oculistes, etc. N'étant plus que des artisans, ceux-ci, groupés en guildes, libres de toute idée préconçue, se développèrent et atteignirent de l'importance par leurs recherches expérimentales. Mais tandis qu'au siècle dernier, barbiers, oculistes et autres, ralliaient la médecine et en devenaient des disciplines importantes, la pharmacie suivait une autre voie.

Le travail expérimental du pharmacien de la Renaissance, imprégné des idées philosophiques de l'époque, s'était parfois égaré dans la recherche de l'élixir de longue vie et de la pierre philosophale. Quoique ces hommes ne pouvaient suivre de cours supérieurs, leur esprit inventif conduisit un SCHEELE à la découverte de l'oxygène et du chlore, un SERTURNER ou un DEROSNE à la première isolation d'un alcaloïde, l'un de ces fameux principes actifs de drogues que l'on avait cherché en vain jusqu'alors à isoler des plantes.

Puis ce sont aussi des pharmaciens, disposant de moyens techniques plus importants, porteurs des noms de BOEHRINGER, LEVERKUS, MERCK, RIEDEL, SCHERING et bien d'autres, qui créèrent l'industrie pharmaceutique. En développant leur laboratoire, leur arrière-boutique, ils se distancèrent du local où ils avaient tout d'abord vendu leurs produits; ils les vendirent, par l'intermédiaire de grossistes, à ces mêmes pharmaciens qu'ils étaient peu auparavant. Le fils reprenait au père l'essence même de son occupation: *la préparation des médicaments*, puis plus tard encore, leur *analyse* et leur *dosage*. L'occupation étant rentable, pourquoi se serait-il arrêté en chemin? Le produit pur fut mis en solution, en comprimés, en ampoules; des mélanges innombrables furent concoctés et confectionnés en autant de formes pharmaceutiques que possible. Privé peu à peu de la confection des médicaments, le pharmacien devenait un commerçant qui vend des médicaments dans des emballages tout prêts; la découverte des séras, vitamines, hormones, antibiotiques, toutes substances qui ne sauraient être préparées dans une pharmacie, mais demandent les moyens techniques de la grosse industrie, devait achever le processus: on disait que la pharmacie se mourait, le pharmacien n'était plus qu'un vendeur, un épicier.

Si tel était le cas vraiment, la pharmacie formerait-elle la dix-septième section de notre Assemblée annuelle? GOSSE aurait-il été l'initiateur de notre Société; celle-ci aurait-elle été présidée en 1825 et en 1848 par PFLUGER de Soleure, en 1847 par LAFFON de Schaffhouse, en 1854 par MEYER de St-Gall, l'année suivante par NICOLET de La Chaux-de-Fonds, en 1884 par LINDTER de Lucerne et, en 1928, ici-même, par JULES AMMAN, bryologiste à ses heures de loisir?

Pour comprendre ce qui se passe, il faut se remémorer l'origine médicale de la pharmacie et son évolution au service exclusif de la chimie pendant 500 ou 600 ans, puis son lent retour à la médecine, avec un retard de 100 ans sur les barbiers, chirurgiens, oculistes, etc. On discerne cette évolution dans l'enseignement actuel de la pharmacie qui, là où il n'est pas autonome, comme dans quelques universités françaises, est tantôt attribué à la Faculté de médecine, ainsi à Berne, tantôt à la Faculté des sciences. Ces études, elles aussi, reflètent encore le passé : mais les stages pratiques qui interrompent les études universitaires pendant plus de deux ans, ont bien diminué par rapport aux nombreuses années d'apprentissage d'autrefois, suivies des années de compagnonnage et de maîtrise, avant de passer l'examen final. Ils sont complétés chez nous par sept, bientôt huit semestres d'études universitaires. Celles-ci sont ainsi tout aussi longues que celles nécessaires à l'obtention du diplôme de chimiste, de botaniste, de géologue, que sais-je encore.

Le professeur de pharmacie a devant lui des savants en herbe. Que deviendront-ils ?

Le futur pharmacien aura à faire valoir ses linéaments caractériels, ceux dont nous avons parlé tout à l'heure : l'avidité, les intérêts sensoriels, la tendresse et la passion intellectuelle.

Les jeunes gens qui viennent à nous, ont-ils tous ces facultés bien réparties ? Certainement pas ; suivant que l'une ou l'autre prédomine, l'avenir du pharmacien suivra des voies différentes.

On sait que toute profession marque son homme, et cela d'autant plus favorablement que le caractère de l'individu allait déjà dans le sens où le métier forme l'homme. On ne prévient pas assez les étudiants en général de la différence, caractéologiquement essentielle, entre le genre de vie que l'on mène pendant les études et celui qui vous sera imposé par la carrière à laquelle l'école prépare. Si souvent, le métier déçoit par la répétition monotone des mêmes travaux. L'étudiant en pharmacie ne court guère ce risque, d'une part parce que la vie de tous les jours dans une officine est extraordinairement variée, d'autre part, parce que ses stages pratiques, venant assez tôt, lui auront montré à temps, s'il fait fausse route. On ne reçoit pas souvent des lettres comme celle de cet ancien étudiant qui m'écrivait du fond de l'Égypte, pour se plaindre qu'il n'y avait pas assez de changement dans sa vie, qu'il devait faire des pilules au moins une fois par jour. Or, à cette époque, les étudiants égyptiens ne faisaient leurs stages qu'à la fin de leurs études !

Si des circonstances familiales ne l'ont pas obligé à choisir la pharmacie contre son inclination ou sa volonté, le jeune candidat est en tout cas pourvu de l'*avidité*, que nous avons tous en nous. Mise à part son intelligence, sa soif de connaissances se reconnaîtra déjà aux notes obtenues à ses examens. Mais ensuite différentes possibilités s'offriront à lui : il *copiera* servilement toutes les formules qu'il rencontrera, dans l'espoir de les utiliser peut-être un jour ; ou bien il se *résignera à emballer* des paquets préparés par d'autres et à en encaisser la contre-valeur. S'il a en même temps fortement la bosse du commerce, il s'efforcera d'*aug-*

menter davantage son *chiffre d'affaires* que ses connaissances scientifiques. Ou encore, il estimera que sa formation scientifique ne saurait se résoudre à abandonner à l'industrie le champ qu'elle lui a enlevé depuis une cinquantaine d'années et il essaiera de se *singulariser*, par exemple en préparant lui-même de nouveaux remèdes ou en représentant une nouvelle maison étrangère. Enfin il se peut qu'il fasse le grand pas définitif: il *quittera* son officine et la profession libérale qu'elle personnifie, pour choisir la position de salarié scientifique, en entrant au service de l'industrie, au même titre que le biologiste ou le chimiste. Aux yeux du public, il aura *seul* conservé l'auréole du savant. Ce grand pas, il peut aussi l'avoir fait dans une autre direction, avoir changé d'orientation, en complétant ses études par celles de médecin, bactériologue, botaniste, et bien d'autres encore.

Un héritage de notre passé médical est aussi notre impossibilité de décider par nous-même de nos programmes d'étude; toute modification doit être acceptée par un collège de cinq médecins, puis par les cantons, et enfin par le Conseil fédéral! Quelle est la discipline scientifique qui se satisferait de pareille limitation dans ses compétences? N'importe quel programme d'étude universitaire peut être modifié en quelques mois dans n'importe quelle université, mais le pharmacien ne peut améliorer son programme d'études, quand il l'estime souhaitable pour sauvegarder la santé du public. Heureusement que chacune de nos écoles dispose d'assez d'autonomie et jouit suffisamment de la compréhension des départements cantonaux de l'instruction publique, pour introduire officieusement ce qui ne deviendra officiel que quelque 15 à 20 ans plus tard! C'est ainsi que, malgré la vétusté du règlement fédéral actuel des études de pharmacie, les étudiants que nous formons sont capables, depuis bien des années déjà, de diriger des pharmacies d'hôpitaux ou de travailler à la confection sur une grande échelle, dans les usines, de ces préparations qu'il n'est plus possible de préparer dans une pharmacie ordinaire. Ainsi, ils ont fait la preuve, il est vrai, loin des yeux du public, de la valeur de leurs études; leurs recherches ont souvent conduit à des résultats remarquables.

L'enseignement de la pharmacie fait appel aussi bien aux données de la botanique, de la physique, de la chimie, que de la physiologie animale, de la bactériologie, etc.; il a donc une base scientifique, large, solide et entièrement justifiée. Et cette science, de caractère essentiellement mouvant, doit s'adapter constamment à ce qui se fait dans toutes les disciplines pour transformer la drogue en une forme galénique, pour en connaître la toxicité et le mode d'action; le résultat s'en reflète dans les pharmacopées, dont la suisse est parmi les plus scientifiques qui existent.

Les *intérêts sensoriels* sont caractérisés chez le pharmacien par le goût du travail bien fait, par le désir d'avoir des ordonnances compliquées et par conséquent beaucoup plus intéressantes à exécuter. Cette envie est largement satisfaite par les ordonnances que j'appellerais modernes qui, si elles sont moins nombreuses qu'autrefois, demandent infiniment

plus de temps et de réflexion pour les exécuter. Ceux qui en sont doués, s'efforcent de gagner du temps, en utilisant du personnel auxiliaire de toutes sortes, pour se libérer des tâches manuelles qui leur en feraient perdre. Ils estiment normal d'abandonner à l'industrie, non seulement tout ce qu'il est matériellement impossible de réaliser sur une petite échelle, mais encore tout ce qui ne demande pas un travail cérébral suffisant. Ce tempérament tient à l'approbation du médecin; il lui téléphonera fréquemment, sera heureux de s'en estimer le collaborateur et de sentir qu'il peut lui être de quelque utilité, peut-être même comme propagandiste d'une usine de produits pharmaceutiques.

La *passion scientifique* aura été prédominante chez l'avidé qui aura quitté la profession pour s'adonner au travail d'usine; ayant le goût de la recherche, il aura eu l'impression de rester un savant, et d'être utile à l'industrie au moins autant qu'à sa profession. La raison de ce passage pourra aussi avoir été l'incapacité de s'adapter aux difficultés de la profession; il se sera senti plus en sécurité dans l'organisme géant auquel il se sera incorporé. En effet, la pharmacie d'officine est tout ce que facile à exercer.

A notre époque de puissance de la masse, cette profession libérale est probablement celle qui est enserrée le plus étroitement dans les règlements; et puis, les lois sanitaires ne changent-elles pas souvent d'un canton à l'autre? Il en résulte une insécurité de droit qui nuit à l'éthique de la profession.

Alors qu'il possédait, il n'y a pas bien longtemps, le monopole de la vente des médicaments, le pharmacien n'a plus guère que le monopole de devoir souvent refuser de dispenser le produit qu'on le supplie de vendre, et avec le bénéfice duquel il est censé nourrir sa famille. Personne ne lui sait gré de soumettre son propre intérêt économique à la conscience professionnelle. La mission qu'il doit remplir lui interdit aussi de vendre à prix réduit un vieux médicament; il n'a pas le droit de faire de la réclame pour se débarrasser de ses soldes et il devrait tout avoir à disposition de son client, tout ce qui pourrait lui être demandé, des 20 000 spécialités du commerce en Suisse!

Pour l'accepter plus facilement, et pour remplir au mieux sa mission, le pharmacien d'officine doit *avant tout* être possédé de ce que le caractérologue nomme *la tendresse*; il doit faire journallement œuvre de missionnaire. Tant que l'on *guérissait* des maladies, on s'adressait au médecin; maintenant que l'on veut *prévenir* une maladie que l'on n'aura peut-être jamais, maintenant que l'on veut surtout ne rien changer à son mode de vie et pourtant s'éviter les conséquences de ses excès, on en vient à exiger du vendeur-pharmacien, des drogues et surtout des *quantités* de drogues qui sont absolument incompatibles avec le maintien, dans le temps, de la santé.

Quand on pense au nombre et à l'intensité des pressions et recommandations qui fusent autour de chacun, à la quantité incroyable de méthodes et remèdes préconisés contre le moindre bobo, on comprend les exigences posées à la morale du pharmacien, par le besoin d'automédication des

foules. Non seulement, on lui interdit de vendre les stupéfiants et les poisons sans ordonnance; non seulement, on lui conseille de ne vendre qu'au compte-gouttes ou même de refuser de vendre les soporifiques, les antibiotiques et sulfamidés que la propagande tapageuse et les cancanages des voisins ont vantés comme des panacées; mais encore on le charge de déconseiller l'achat de grosses quantités de ces comprimés anti-douleurs qui font tant parler d'eux depuis qu'il y a cinq ans la Société suisse de pharmacie, par l'entremise de sa Commission scientifique, attachait le grelot à cette nouvelle plaie: l'abus des calmants. Des polémiques sans fin ont essayé de minimiser l'effet de ces paroles; elles proviennent de tous ceux qui ont intérêt à vendre non pas ce qui sera utile à l'acheteur, mais à leur propre poche. *La tâche du pharmacien est au moins autant de persuasion qu'elle est scientifique.* Je n'ai pas le temps de relever les conséquences désastreuses dues à l'abus de la pénicilline et d'autres antibiotiques, et pourtant le profane prétend en savoir beaucoup plus sur ses besoins en médicaments que les hommes de l'art.

Parmi les 10 à 20 kilos de matériel de propagande mensuel que reçoit le médecin, a-t-il le temps, et l'enseignement qu'il a reçu lui donne-t-il les connaissances nécessaires, pour déceler la raison de l'efficacité de tel produit, plutôt que de tel autre? N'est-il pas souvent obligé de prescrire un remède que le malade exige, ou un autre, qui certainement n'est pas meilleur qu'un plus ancien, mais qui a le mérite d'être moderne, d'être soutenu par une réclame plus ou moins larvée et qui frappe le public, plutôt que d'indisposer violemment son malade? De même que le pharmacien conseille le public sur ce qu'il devrait ou ne devrait pas acheter, parce qu'il est le mieux à même de juger de la valeur de ce qui est sur le marché, il doit *avoir l'envie et le courage* de donner au médecin qui en exprime si souvent le besoin, les bases scientifiques des médicaments qu'il emploie. Le pharmacien est le seul spécialiste du médicament. On conçoit d'autant moins l'usage, très répandu en Suisse alémanique encore, de la dispensation de remèdes par le médecin. Celui-ci ne sait pas préparer le médicament, mais une maison spécialisée lui en fournit des emballages tout prêts, dont il ne connaît très souvent pas le contenu, mais seulement qu'ils sont bons pour telle ou telle affection. Cette confusion entre le législatif, médecin, et l'exécutif, pharmacien, comporte des risques énormes; en voici un exemple: un excellent médecin, ignorant comme tant d'autres ce que contenaient ses comprimés contre la toux, ne dispensait-il pas récemment à un petit enfant, un produit qui se comporte presque exactement comme un stupéfiant? Mais, si beaucoup de médecins vendent ou prescrivent des remèdes, sans connaître leur contenu, le droguiste, l'épicier, la serveuse de restaurant, sont-ils mieux informés que le client qui exige et obtient un cachet contre son mal de tête. N'avez-vous pas rencontré au bord de la route des affiches comme celle que l'on pouvait lire dans le Mittelland, au printemps dernier: Fruits, poudres contre les maux de tête, eaux minérales, cigarettes, chocolat, benzine...

Lorsque vous faites emplette, ailleurs qu'à la pharmacie, d'un médicament, vous êtes-vous jamais demandé si vous ne vous faisiez pas tort à vous-même, ressortissant d'une des branches de la science, à laquelle vous êtes pourtant fier d'appartenir ? Je sais bien que le monopole théorique dont jouissait le pharmacien lui a créé des envieux et que les avantages pécuniaires ont été montés en épingle ; des hommes d'affaires croient placer leur argent au mieux en achetant une officine, à la tête de laquelle ils nomment un gérant, un « fermier ». Une profession libérale ne s'accommode pas de la pénétration en son sein de salariés scientifiques, la santé publique n'a rien à y gagner. Et, puisque le monopole est brisé, les gains sont devenus insuffisants ; le titulaire de l'officine a dû étendre son champ d'activité, en introduisant des rayons spéciaux : parfumerie, articles techniques divers, photographie, alcools, faisant en cela, lui aussi une sorte de « concurrence déloyale » à d'autres professions !

Pour le public, le pharmacien d'officine est toujours celui qui vend à des prix surfaits, dont les services doivent *évidemment* être gratuits, puisqu'ils vous apportent la guérison, vous maintiennent en bonne santé, vous rendent la vie valable d'être vécue et *puisque la santé ne se paie pas !* C'est même souvent encore cet homme ridicule, ridiculisable, peut-être malheureux et souvent perdu dans ses rêveries, que Spitzweg nous a laissé sur une toile fameuse. Il ne peut plus, comme autrefois, ou comme le chercheur de laboratoire dont le traitement vient tout seul à la fin du mois, se réfugier dans son cabinet de travail ; il est le seul scientifique qui soit jour et nuit à la disposition du public, sans que celui-ci ait à prendre un rendez-vous qui, souvent, ne pourrait s'obtenir que plusieurs jours plus tard.

Le pharmacien est au service du malade, avec son cœur et son intelligence : parfaitement informé dans les domaines théoriques, il est en contact constant avec une pratique essentiellement humaine, et cela lui permet de supporter bien des difficultés ; mais vous ne devez pas ignorer que, lui seul, ne peut partir se reposer quand cela lui plaît, quand ses enfants ont les vacances ; il ne peut quitter sa pharmacie que s'il a pu trouver un remplaçant qualifié, donc diplômé ; il n'a jamais le droit de fermer boutique.

Tout scientifique qu'il soit, le pharmacien a donc une place à part dans le domaine des sciences mathématiques, physiques et naturelles ; les appliquant plus ou moins toutes ensemble, il s'en différencie par le schéma de ses études et par son contact constant avec la maladie.

De même que le chimiste se spécialisera en chimie minérale, dans la chimie des colorants ou des apprêts, celle de la synthèse des médicaments et bien d'autres encore, de même que l'étudiant médecin deviendra phtisiologue, chirurgien, gynécologue et tout ce que vous savez aussi bien que moi, le pharmacien, selon ses tendances héréditaires et caractérielles, optera pour l'une ou l'autre des nombreuses possibilités que je viens d'esquisser devant vous. Notre enseignement doit être équilibré, multiple et varié, et il faut souhaiter que chacun de nos jeunes

saura choisir à temps l'officine de la ville ou de la campagne, la pharmacie d'hôpital ou le laboratoire industriel, et y appliquer au mieux les aptitudes qu'il possède. Pour nous, leurs professeurs, nous devons espérer en voir venir à nous qui soient le plus savants ou le plus humains possible, pour le plus grand bien de chacun.

MM. les représentants des autorités cantonales, communales et universitaires,
Mesdames, Mesdemoiselles et Messieurs,

L'usage veut que le président annuel donne quelques explications, quelques renseignements historiques et distribue quelques fleurs.

Il ne saurait être question de faire ici, même en raccourci, l'historique de la S.H.S.N. Je préciserai seulement que cette assemblée est la neuvième tenue à Lausanne et la dixième dans le canton, la première ayant eu lieu en 1818.

Il y a dix ans, notre collègue COSANDEY présidait avec un rare bonheur la 129^e Session. Après si peu de temps, et après l'effort fourni pour composer un Comité central, qui s'est montré digne de tous les éloges, il ne fut pas facile de trouver des candidats pour le Comité annuel. Je remercie le président annuel précédent, de s'être spontanément mis à la disposition du nouveau comité. La tâche de le présider tomba sur celui qui vous parle. «Faute de grives, on mange des merles» dit-on; par bonheur, vous protégez la gent ailée et j'ai ainsi moins à craindre de vous, que vous de moi.

Le Comité central de Lausanne a terminé ses six ans d'existence l'an dernier; selon la tradition, c'était donc en 1958 que vous auriez dû vous réunir ici pour prendre congé de lui. Cependant, il se trouvait que 50 ans exactement venaient de s'écouler depuis la dernière réunion de l'Helvétique à Glaris et, cette année-là, la Société glaronnaise des sciences naturelles fêtait son soixante-quinzième anniversaire; nous lui avons volontiers cédé notre tour, pour lui permettre de marquer ce double jubilé et nous sommes heureux que son président, après s'être dépensé sans compter pour nous l'an dernier, ait accepté d'être des nôtres aujourd'hui.

Que dira-t-on de nous dans cinquante ans? Je ne sais, mais je voudrais relever quelques faits divers de la Session lausannoise de 1909; parmi les 80 membres alors présents, je vois les noms d'AUGUSTE FOREL, de FRITZ et PAUL SARRASIN, MARTIN RIKLI, AMÉ PICTET, SCHRÖTER, ALFRED WERNER, LUGEON, ALBERT HEIM et SCHARDT. Ces grands noms de la science suisse ne sont plus, mais je suis heureux de pouvoir saluer aujourd'hui quelques-uns de ses membres qui nous sont restés: si FRÉDÉRIC JACCARD, LARGUIER DES BANCELS et AUGUSTE MAILLEFER sont éloignés par la maladie, qu'ils sachent que nous pensons à eux; PAUL DU PASQUIER et même les deux secrétaires du Comité annuel d'alors, sont

parmi nous: HENRI FAES, voyageur encore infatigable, de même que le titulaire de la concession radiophonique N° 1, celui qui voyageait parmi les glaces polaires avec DE QUERVAIN et avec CHARCOT, le pionnier de la glaciologie, de l'étude des marées du Léman et des ses tornades, et de tant d'autres choses, PAUL-LOUIS MERCANTON; que la fête d'aujourd'hui puisse leur rappeler les beaux jours d'il y a cinquante ans.

Ce même 5 septembre 1909, 62 nouveaux membres étaient admis dans notre Société, parmi lesquels je note au passage PAUL CRUCHET, toujours vert, lui aussi, ainsi que deux noms de disparus, JEAN LANDRY, l'ancien directeur de notre Ecole d'ingénieurs et ALBERT EINSTEIN, dont vous me dispenserez de préciser les qualités.

C'était une belle époque; la carte de fête ne coûtait presque rien; la Société de développement d'Ouchy et la Société de navigation offraient une fête vénitienne. Le mercredi matin, l'assemblée se transportait à Vevey où des amis des sciences offraient une collation; à midi la petite-fille de DANIEL-ALEXANDRE CHAVANNES, le président annuel des deux premières assemblées tenues à Lausanne, invitait chacun à dîner au Palace, et le botaniste BURNAT recevait tout le monde pour le thé, au Grand Hôtel du Mont-Pèlerin.

Chaque assemblée annuelle est l'occasion, pour son comité et surtout pour son président, de tenter d'améliorer ce qui lui a paru perfectible lors des assemblées précédentes ou de renouer avec des habitudes dont il a eu connaissance par la lecture des rapports des séances antérieures et qui étaient tombées dans l'oubli.

Nous avons choisi de reprendre une répartition des jours de séance délaissée depuis la guerre, estimant qu'il est agréable de pouvoir rentrer chez soi le dimanche soir, pour commencer le lundi matin le travail de la semaine.

Le nombre des lits ayant récemment augmenté à Lausanne, il nous a été possible, pour la première fois, de vous convier pendant la période d'ouverture du Comptoir suisse; en effet, si l'on a pavosé pour vous, c'est à l'occasion du Comptoir. Cela aura permis aux participants venus par le rail de bénéficier des réductions accordées à cette occasion, à condition, bien entendu, qu'ils n'oublient pas de faire timbrer leur billet.

Au lieu de me conformer à un usage fréquemment mis en pratique, qui veut que le discours du président annuel soit consacré à l'examen de l'une des questions scientifiques à l'ordre du jour, j'ai laissé ce soin aux conférenciers invités. J'ai préféré faire usage d'une autre coutume, qui est de lui laisser la plus grande liberté dans le choix de son sujet.

Un groupe de conférences essaiera de répondre aux questions suivantes: Quelle place avons-nous faite, quelle place faisons-nous à la recherche en Suisse? Avons-nous un programme précis, ou nous laissons-nous aller en obéissant au vent qui souffle le plus fort? Qu'advient-il de la conscience du chercheur, placé devant les millions mis à sa disposition? Vous passerez ensuite, dans le temps et dans l'espace, de la génétique des bactéries à l'envoi de missiles circumterrestres, puis nous nous pencherons sur ces reliques de l'époque tertiaire, que le grand courant

polaire austral et l'éloignement des communications maritimes ont maintenues en vie sous l'équateur, mais que la bêtise humaine, que nous sommes censés extirper, s'acharne à effacer de la surface du globe.

Les présidents de sections ont bien voulu accéder à ma demande d'organiser un nombre assez élevé de séances communes et j'espère que la plupart d'entre vous ne se confineront pas dans une seule discipline, mais iront, par moments, grossir les rangs d'une société voisine.

Lors de la séance du Sénat de notre Société, j'ai appris que le nouveau Comité central avait mis à l'étude la recherche des moyens propres à intéresser davantage la jeunesse aux problèmes de notre Société. Ayant fait nôtre votre projet, Monsieur le Président central, nous avons profité de la présence dans nos rangs de deux éminents pédagogues de langue française, pour les prier de s'adresser à nos jeunes : c'est ainsi que demain, dans l'un des cinémas de notre ville, les élèves des gymnases classique et scientifique, la plupart de celles du Gymnase de jeunes filles et nos futurs instituteurs, élèves de l'École normale, bénéficieront de deux conférences conçues à leur intention : M. MULLER leur expliquera comment on peut suivre dans le ciel les satellites artificiels et M. DORST leur exposera quelques-unes des tendances actuelles de la biologie moderne, en particulier en ce qui touche à la biologie de terrain, par opposition à la biologie expérimentale.

Joignant l'agréable à l'utile, nous avons songé aux à-côtés touristiques et même gastronomiques, selon les traditions fort appréciables de tout congrès qui se respecte. Ainsi, à 14 heures précises, nous quitterons Lausanne de la place de la Riponne, à la sortie de l'Université, pour nous rendre à Ste-Croix, dont les industriels et les autorités communales se sont ingéniés à nous rendre le séjour des plus plaisant. Vous avez probablement déjà pris connaissance de ce programme spécial, qui vous aura brièvement présenté l'un de ces trop rares points de vue jurassiens d'où s'ouvre un incomparable panorama ; nous avons, en effet, choisi de vous conduire, pour vous faire connaître, ou en tout cas admirer, notre pays, aux Rasses, à mi-chemin du Chasseron où les Helvètes, puis les Romains, célébraient un culte, sans y avoir édifié de temple. Cela nous rappelle la lumineuse démonstration de notre collègue AEBISCHER : le culte d'une sommité, conjugué peu à peu, au cours des siècles, au culte d'un arbre – kassanos, le chêne – vénéré au pied de la montagne, au bord du lac, pour le gui qu'il portait.

Le programme établi pour vous rendre agréables et utiles les trois jours que vous passerez à Lausanne a été réalisable grâce au dévouement des membres du Comité annuel ; en votre nom à tous, j'exprime notre gratitude aux autorités du canton, de la ville et de l'Université, ainsi qu'aux nombreuses personnes, groupements industriels et établissements divers, qui, d'une façon ou d'une autre, mais tous de manière fort tangible, ont aidé à la préparation de notre réunion.

En rendant hommage à leur appui, en souhaitant à nos sections que chacun de leurs membres rentre chez lui satisfait du travail accompli et des choses vues et entendues, en me réjouissant d'être le premier

président annuel à vous souhaiter, Mademoiselle et Messieurs les membres du Comité central la bienvenue parmi nous, en vous souhaitant à tous, collègues, membres et amis, de Suisse et de l'étranger, représentants de la presse suisse alémanique et romande, au nom de la Société vaudoise des sciences naturelles et au nom de l'Université, une très cordiale bienvenue, je déclare ouverte la 139^e Session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

Sept ans de Fonds national

par

ALEXANDRE DE MURALT

«La science doit être libre et ne doit pas être asservie à l'Etat. La liberté est son élément vital.» Ce fut par ces mots que Monsieur le Conseiller fédéral Etter sanctionna, le 1^{er} août 1952, la création du Fonds national suisse de la recherche scientifique. Et au cours de ses sept premières années, l'activité du Fonds fut constamment soumise à ce principe. La Société Helvétique des Sciences Naturelles fut le sol fertile, qui permit au Fonds national de se réaliser; nous n'oublierons jamais sa collaboration et l'aide qu'elle nous apporta de la part des cercles les plus divers. Si, dans tout le pays, les naturalistes ne nous avaient appuyés avec un tel enthousiasme, il ne nous aurait jamais été possible de faire approuver notre projet par le Parlement avec une unanimité qui était un signe convaincant de la maturité de notre patrie.

Après sept ans c'est un grand plaisir pour moi que de pouvoir donner rapport à l'un des cercles où s'est conçu le Fonds national et de lui faire part de nos joies et de nos succès, mais aussi de nos soucis et de nos difficultés. Je sais que votre cercle est prêt à accueillir toute considération droite et franche avec la compréhension qui caractérise le naturaliste, et c'est pour cette raison que je me réjouis de vous parler sans détours de la vie de notre organisation.

En se montrant le plus optimiste, que peut-on attendre d'un organisme tel que le Fonds national qui essaie d'encourager la recherche scientifique à l'aide de moyens financiers seulement? Nous savons tous que ces dix dernières années, dans le domaine des sciences naturelles surtout, il y a eu un développement énorme en surface et que le nombre des chercheurs dans ces branches a plus que décuplé dans le monde. En même temps que l'augmentation du personnel scientifique devient nécessaire, nous nous trouvons en face d'exigences nouvelles dans le domaine des installations techniques, d'appareils et d'instruments; un laboratoire de physique qui ne posséderait pas un appareillage de haute tension ou un équipement pour basse température, un laboratoire de biologie sans microscope électronique ou un laboratoire de chimie sans ultracentrifugeuse ne se conçoivent presque plus, vu qu'ils ne pourraient prendre part à la compétition mondiale sans ces armes. Voici pourquoi la recherche scientifique nécessite toujours plus d'argent et c'est pourquoi des organisations se créent dans tous les pays participant activement à la

recherche scientifique. Notre Fonds jouit d'une situation particulière dans le cadre de ces organisations. En effet, en tant que fondation privée il est tout à fait indépendant de l'Etat, et bien qu'il compte dans ses rangs deux représentants du Conseil fédéral, deux représentants du Parlement et le délégué aux questions atomiques, le travail de ces derniers ne consiste pas en un contrôle, mais en une orientation vivante et efficace. Cette indépendance particulière et cette liberté à l'égard des influences politiques et autres sont considérées avec envie par les organisations similaires qui, chaque jour, doivent se débattre avec ces facteurs. Le Parlement et le Conseil fédéral nous ont honorés d'une confiance pour laquelle nous ne saurions être assez reconnaissants et qui nous oblige, dans le sens le plus étroit du mot, à une administration impeccable. On peut vraiment dire avec fierté que la Suisse, qu'on accuse souvent à tort de mesquinerie et d'esprit de boutique, a accordé, en ce qui concerne cette forme d'encouragement de la recherche scientifique, une confiance exceptionnelle à ses chercheurs. Et cela m'amène à un point qui me tient très à cœur. On considère malheureusement souvent les subventions de l'Etat et les organes qui les administrent comme des vaches à lait qu'il convient de traire sans complexes, et la pensée publique considère celui qui réussit à en extraire la plus grande quantité de lait comme le plus laborieux. J'espère de tout cœur que l'attitude des savants suisses n'a rien de commun avec cette manière de penser, qui est hélas assez généralisée. Ces sommes ont été confiées par le Parlement aux savants suisses comme à une grande famille, en vue d'une administration des plus soigneuses, et le Conseil de la recherche du Fonds national, que les chercheurs suisses ont chargé d'administrer ces moyens, le fait absolument comme un père le ferait pour les membres de sa famille. Mais chaque membre de la famille est conjointement responsable de ce que l'argent mis à disposition soit dépensé avec économie et conscience. Nous voulons, en tant que famille de chercheurs, montrer chaque jour au Parlement qu'il avait raison de nous faire confiance et que nous savons dépenser avec soin et reconnaissance l'argent qui nous a été remis.

Le Conseil de la recherche, en tant qu'organe exécutif, est responsable vis-à-vis du Conseil de fondation, et dans ce forum démocratique — où est représenté l'ensemble de la science suisse — chacun a la possibilité d'exposer ouvertement ses critiques, ses craintes et les sujets qui devraient être discutés. De temps à autre paraissent dans la presse des réflexions critiques de chercheurs isolés qui ne sont pas d'accord avec tel ou tel procédé du Fonds national et qui exigent une discussion publique. Je ne leur ai pas répondu, vu que le Conseil de fondation est le forum envers lequel le Conseil de la recherche est responsable en tout temps, et vu que tout chercheur en Suisse a la possibilité d'élever la voix et d'exprimer son opinion — ainsi qu'il en a le droit — par l'intermédiaire du Conseil de fondation. L'encouragement de la science par le Fonds national n'est plus une question de critique locale ou individuelle, mais concerne maintenant toute la Suisse et ne peut être discuté valablement que par le forum national du Conseil de fondation.

Le plus grand reproche qu'on ait fait jusqu'à présent au Conseil de fondation a été qu'il dirigeait la recherche, que les chercheurs avaient perdu leur liberté et un philosophe a même été jusqu'à parler d'esclavage. Je ne voudrais pas minimiser ce reproche. On pourrait simplement dire que le Fonds national travaille selon le principe d'étudier les requêtes qui lui parviennent, de les accorder ou de les refuser et, vu qu'il n'a jamais posé une condition particulière à une recherche, on ne peut vraiment pas parler de dirigisme; en effet, chaque chercheur peut présenter sa requête de la manière qu'il préfère et même là il ne doit se plier à aucune exigence. En quoi consiste alors le dirigisme? Et pourtant, si l'on examine plus soigneusement ce reproche, on ne peut manquer de voir qu'il contient un soupçon de vérité. Même si une commission s'efforce de travailler avec un maximum d'objectivité, il est indéniable que certains projets de recherche et certaines orientations semblent avoir plus d'avenir que d'autres et qu'il est beaucoup plus facile à cette commission de traiter plus libéralement les requêtes rentrant dans cette catégorie que celles qui lui semblent vagues et peut-être même peu scientifiques. Nous sommes tous des êtres humains et l'on ne peut attendre d'une commission qu'elle reconnaisse sans autre comme telles des conceptions géniales, mais qui devancent l'esprit du temps.

Vous vous souvenez peut-être qu'en 1921 deux jeunes étudiants de Toronto, BANTING et BEST, avaient découvert l'insuline. J'ai demandé à CHARLES BEST s'il croyait que si une commission pour l'encouragement de la science — comme on en rencontre partout maintenant — avait existé à l'époque, elle aurait subventionné ce projet. Sa réponse fut catégorique: «Certainement pas, mais nous avons eu un chef, le professeur MACLEOD, qui nous a laissé faire avec bienveillance et c'était cela l'important!»

Dans la recherche scientifique, en quoi consiste la perte de liberté qui est censée avoir été occasionnée par l'activité du Fonds national? Elle se manifeste en ceci qu'un requérant voulant être certain que sa demande lui soit accordée, adaptera son projet de manière qu'il plaise à la commission compétente et abandonnera ainsi fréquemment une idée qui lui tenait spécialement à cœur en sa qualité de chercheur, mais dont il n'est pas sûr qu'elle rencontre l'approbation de la commission. Si l'on veut être tout à fait honnête, je crois qu'il faut reconnaître que, de par son existence, le Fonds national crée, sans le vouloir, une certaine dépendance de la psychologie du requérant. Il faut cependant mentionner qu'un chercheur ayant vraiment du caractère, et étant absolument persuadé de la justesse de sa voie, la suivra envers et contre tous. Dans le monde entier, le sort de toutes les entreprises de ce genre est qu'elles encouragent davantage la recherche moyenne et relativement banale que les brillantes performances des pionniers qui n'ont pas su être reconnus à temps par des commissions après tout composées non de dieux mais d'êtres humains. Il y a là matière à une réflexion également digne d'être formulée: c'est précisément le manque d'encouragement et l'opposition qui ont donné au pionnier la force de poursuivre

son plan malgré tout et de le réaliser seul, en dépit de l'opinion du monde. Je crois qu'on peut dire honnêtement qu'en Suisse le Fonds national ne sera jamais un gros obstacle pour un pionnier doté de cette force.

Le Fonds national distingue quatre formes de subventions :

1. le subside de recherche,
2. le subside de jeune chercheur,
3. le subside de publication et
4. la subvention personnelle.

Il n'y a en fait pas grand-chose à dire sur le subside de recherche, à part que durant les sept premières années de son activité, le Fonds national a donné à d'innombrables laboratoires et séminaires suisses la possibilité de réaliser, à l'aide de subventions, des projets de recherche qui appartenaient auparavant au domaine du rêve, et je suis persuadé que ces subventions ont éveillé en Suisse le courage, la confiance et la certitude de tenir correctement sa place dans le grand orchestre de la science internationale.

Des équipes de chercheurs collaborent à une tâche là où naguère la constitution d'une telle équipe aurait été impossible; l'appareillage mis à la disposition de ces chercheurs permet d'utiliser les méthodes les plus modernes, alors que précédemment le manque de moyens financiers entravait tout effort. Des manuscrits de valeur sont en cours d'impression, que nul éditeur ne pouvait accepter. Des fouilles ont été entreprises où florissaient d'anciennes civilisations. Des collections se constituent ou se complètent, et plusieurs savants voyagent dans des contrées lointaines. La confiance et l'esprit d'entreprise se raniment partout dans les foyers culturels de notre pays. La vie scientifique n'est pas l'apanage des villes universitaires seulement; elle s'éveille à nouveau, non pas passagèrement, mais d'une manière durable, dans les autres régions de la Suisse.

Environ 2000 publications scientifiques sont là comme preuves de l'activité des chercheurs subventionnés, et bien qu'elles ne puissent compter au nombre des grandes découvertes, on peut dire en toute objectivité que la moyenne en est très bonne.

Grâce à l'encouragement des jeunes chercheurs, les commissions de recherche ont eu la possibilité de gagner au travail scientifique un très grand nombre de jeunes gens, une fois leurs études terminées, et de créer ainsi un cercle de jeunes forces où l'on pourra chercher les maîtres de demain.

Jusqu'à fin 1958, 407 chercheurs ont été subventionnés par les commissions de recherche et 893 jeunes gens ont été aidés en connexion avec les travaux des bénéficiaires de subsides.

Nous avons ainsi augmenté l'armée des savants suisses d'un grand nombre de recrues, et maintenant se pose la grave question formulée, à l'époque, de la manière suivante par PAYTON ROUS au Rockefeller Institute à New York: «Comment découvrir des découvreurs?» Lesquels de ces jeunes gens sont-ils des chercheurs vraiment doués? Seul leur

chef peut répondre à cette question, et c'est là que je voudrais lancer un appel sérieux et amical à nos collègues plus âgés. En créant le Fonds national, nous avons tous pris la responsabilité de développer et de fortifier la recherche scientifique en Suisse. Il nous incombe par conséquent d'encourager de tous nos moyens les jeunes gens ayant vraiment le feu sacré, l'intelligence et les dons qui leur permettront de devenir des chercheurs remarquables. Le plus important est l'intérêt personnel, la sympathie et une tutelle indulgente et complaisante. Cette tâche n'est pas du tout facile, car RAMÓN Y CAJAL disait déjà : « L'humilité convient peut-être aux saints, mais pas aux savants. » Un jeune homme, possédant les qualités qui font le chercheur, se distingue par une indépendance intellectuelle, un sens critique développé et un certain scepticisme à l'égard des notions établies, et cela en fait malheureusement un subordonné désagréable. Il faut beaucoup de grandeur et de générosité de la part du chef de ce gaillard malcommode pour le pousser comme élève et l'entourer de ses conseils paternels. Il est tellement plus agréable d'avoir un famulus du type de l'élève de Faust, et la tentation de se débarrasser du malcommode est grande. Si cependant nous désirons encourager le travail des pionniers dans notre pays, nous devons précisément concentrer notre intérêt et notre bienveillance paternelle sur ces jeunes gens non-conformistes. Nous devons le faire, ne fût-ce qu'en raison de la confiance que nous a témoignée le Parlement.

Le résultat le plus positif du subside de publication est qu'il a permis d'atteindre une standardisation générale et de meilleures conditions d'impression des travaux scientifiques, obtenues grâce à l'intervention du Fonds national et des négociations avec les éditeurs. Nous avons introduit le principe du subside remboursable, et l'augmentation des remboursements annuels prouve bien que la caution assumée par le Fonds national ne représente en fait aucun risque ; elle n'a été prévue que pour donner aux éditeurs plus de confiance en la qualité de nos publications scientifiques. Jusqu'à présent nous pouvons donc affirmer que, dans ce domaine aussi, les résultats ont été satisfaisants. Mais toute médaille a son revers. Les éditeurs ont pris l'habitude de juger de la valeur d'une publication d'après le fait qu'elle ait été ou non subventionnée par le Fonds national. Ils refusent en partie les requêtes qui leur parviennent directement, s'imaginant à tort que seules les œuvres subventionnées par le Fonds national peuvent présenter quelque intérêt. On ne peut faire grand-chose contre cette attitude. Dans de nombreux cas il suffirait peut-être que le préavis du Fonds national soit accompagné d'une simple recommandation pour la publication. Le Fonds n'aurait pas ainsi à octroyer de subside et l'éditeur assumerait les risques lui-même. Cette proposition doit être encore étudiée.

Quatrième forme de subside, la subvention personnelle est un projet qui ne se réalisera que prochainement, lorsque les Chambres fédérales auront accordé les crédits nécessaires. Il s'agit là de la tâche la plus grande et la plus délicate que s'est fixée le Fonds, c'est-à-dire qu'il faudra maintenir les meilleurs chercheurs dans notre pays ou les rappeler

de l'étranger, afin de donner une nouvelle impulsion à la recherche scientifique. Bien que ce projet semble extrêmement attrayant à première vue, il ne faut pas oublier qu'il présentera des difficultés considérables. Sciemment ou – ce qui est pire – inconsciemment la jalousie et l'envie seront des entraves à la réalisation de ce programme.

Il ne faut pas minimiser l'importance de ces facteurs. Humainement parlant il est très compréhensible qu'un homme ayant travaillé des lustres durant dans les conditions les moins favorables, ayant déployé un renoncement personnel admirable et n'ayant jamais trouvé la moindre appréciation de ses efforts s'aigrisse en découvrant dans ses vieux jours que, par la subvention personnelle, toutes ces difficultés sont épargnées au jeune homme qu'on gâte et auquel on offre des possibilités dont son aîné n'aurait même pas rêvé; il n'est nullement surprenant que les aînés considèrent la chance des jeunes comme une pilule amère à avaler. Toutefois, les temps ainsi que les méthodes de recherche ont évolué. Alors qu'autrefois un homme pouvait se livrer tout seul à une activité de pionnier dans son cabinet d'études, il faut aujourd'hui toute une équipe de recherche; voici la raison pour laquelle nous devons à tout prix retenir ou rappeler les jeunes gens doués et leur procurer des postes de chefs d'équipes scientifiques. Il faudra tout essayer pour éviter les frictions entre la jeune génération, tellement plus chanceuse, et l'ancienne qui, sa vie durant, a dû péniblement suivre le chemin épineux de la carrière académique. Cette tâche est difficile, très difficile, mais elle en vaut la peine. Elle n'est d'ailleurs pas simplifiée par le fait que de nombreux jeunes Suisses intelligents ont des postes intéressants aux Etats-Unis, qu'ils sont habitués à des conditions de vie et à des subsides de recherche dépassant la moyenne et, que nous devons, pour les récupérer, leur offrir au moins l'équivalent.

Par ce système de rappel, nous encourons le grand danger que ceux qui avaient quitté le pays soient par la suite mieux situés que ceux qui sont restés en Suisse en se sacrifiant pour une cause, en renonçant à beaucoup d'avantages et en choisissant le chemin le moins facile. Les organes chargés de résoudre ce problème assument une immense responsabilité et il ne semble exister aucune marche à suivre pour sa solution.

Comme vous le savez, le Parlement a voté pour l'encouragement de la recherche nucléaire un crédit global de 50 millions, le plus grand qui ait jamais été voté dans notre pays pour la recherche scientifique pure. Bien que ce fait soit très réjouissant pour la physique atomique, les sciences annexes et tous les savants qui travaillent dans ce domaine, il ne faut pas oublier les soucis qu'il occasionne à ceux qui considèrent la recherche scientifique en Suisse d'une manière plus générale. Les avantages unilatéraux accordés à une discipline la rendent des plus enviables pour tous les jeunes chercheurs qui, influencés par ce puissant encouragement, se lancent dans cette voie. La jeune génération des autres disciplines se décime et il y a danger que la saturation de la physique atomique mène à l'avenir à une situation difficile, trop de jeunes gens ayant choisi cette spécialisation, alors que beaucoup d'autres domaines

manquent de renfort. Ce souci a poussé le Conseil de la recherche à présenter aux Chambres fédérales une demande d'augmentation des crédits généraux du Fonds national; le Parlement a accueilli cet appel avec compréhension. L'augmentation des crédits du Fonds national à sept millions par an nous donnerait la possibilité de nous occuper tout autant des disciplines autres que la science atomique en essayant par là d'éviter une perte d'équilibre. Nous avons l'intention d'accorder la subvention personnelle selon un procédé correspondant autant que possible à la vieille tradition académique de la nomination à une chaire. En ce qui concerne les universités cantonales, la dernière instance compétente était jusqu'à présent la direction de l'Instruction publique, pour l'Ecole polytechnique fédérale c'était son Conseil; à eux s'ajoute le Fonds national lorsqu'il s'agira de la subvention personnelle. Dans chaque cas il se fera conseiller par une commission indépendante spécialisée qui représentera le point de vue national. Je tiens particulièrement à souligner que les bénéficiaires de subventions personnelles seront mis sur le même pied que leurs collègues dans les écoles du degré universitaire correspondantes, et qu'ils doivent être intégrés organiquement dans les équipes de recherche et d'enseignement de ces écoles. Il faut tout faire pour que dans notre pays ne se forme pas une catégorie de chercheurs ayant un statut différent des savants incorporés à l'université qui les occupe.

Le Conseil de la recherche accorde toujours une attention particulière au problème des petites universités, qui exige beaucoup de souplesse et de tact. Je ne puis encore dire si nous sommes arrivés, ces sept premières années, à alléger le sort des petites universités et à donner courage, confiance et espoir à leurs chercheurs. Mais on peut dire en toute honnêteté que l'intention de soigner particulièrement les petites universités exista d'une manière exprimée ou inexprimée lors de chacune des 76 séances du Conseil de la recherche.

Malgré le très grand respect dû à la structure fédéraliste de nos écoles suisses du degré universitaire, je ne puis m'empêcher de croire qu'il faudrait discuter tout à fait ouvertement la question de savoir si nous pouvons continuer l'ancien chemin, bien que l'on puisse déjà prévoir le futur développement de la recherche scientifique; ou ne serait-il pas plus indiqué de chercher là aussi de nouvelles méthodes, afin de pouvoir concourir avec l'étranger?

On fait actuellement, dans le domaine de la physique, des efforts très sérieux et réjouissants pour créer une communauté des physiciens romands, et pour organiser rationnellement le travail scientifique dans le cadre de cette communauté.

Il me semble que cet exemple, même s'il en est encore à ses débuts, devrait être le prélude à la formation d'autres groupes et les chercheurs s'occupant d'une même discipline devraient se réunir, en vue de l'organisation de leur travail, sur le sol suisse. Les problèmes de la recherche sur les virus, sur les protéines, de même que dans d'autres domaines de ce genre, seraient mûrs pour une fusion des centres de recherche intéressés

en vue d'une grande communauté suisse de travail, qui n'entraverait aucunement la liberté de mouvement de chacun mais qui veillerait à sauvegarder une coordination aussi rationnelle que possible en ce qui concerne la gestion des sommes accordées. Vue de l'étranger, la Suisse est un territoire extrêmement petit, et bien que nos écoles suisses du degré universitaire puissent être fières de leurs traditions, il ne faut pas perdre de vue que le voyage de Bâle à Zurich ou de Lausanne à Genève réclame moins de temps que le trajet d'un physicien de son appartement londonien à son laboratoire! Le Fonds national serait bien heureux si, au lieu de devoir procurer un réacteur à chaque ville, il pouvait payer aux physiciens des abonnements de train leur permettant de faire les voyages aller et retour de leur domicile aux réacteurs existant déjà. Les frais équivaldraient à un centième (voir texte) et la coopération de même que l'atmosphère scientifique résultant d'une telle organisation seraient merveilleuses! Pardonnez-moi ces considérations utopiques, je sais qu'elles sont irréalisables, mais elles sont si attrayantes!

On m'a posé toute une série de questions très intéressantes, et je voudrais me permettre d'y répondre:

1. On m'a demandé si le Fonds national pourrait subventionner des travaux de recherche de géographes suisses n'appartenant pas au corps professoral universitaire, à condition qu'ils s'engagent à faire rapport sur les résultats obtenus lors de l'Assemblée générale de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Il est facile de répondre à la première partie de cette question. Le Fonds national est prêt à soutenir tout projet de recherche sérieux et dont l'auteur offre toute garantie quant à une administration consciencieuse, qu'il appartienne ou non à une université. S'il appartient à une université, sa requête peut nous parvenir par le canal de la Commission de recherches de cette université; dans le cas contraire, il peut s'adresser aux commissions de recherche de la Société Helvétique des Sciences Naturelles ou d'une autre institution scientifique, selon sa spécialité, ou nous la présenter directement. Je ne crois pas qu'on puisse obliger l'intéressé à soumettre un rapport à l'assemblée de la Société Helvétique des Sciences Naturelles; il faut lui laisser la liberté de choisir de quelle façon il désire publier le résultat de ses découvertes scientifiques. Le Fonds national ne veut et ne peut poser de telles conditions à l'octroi d'un crédit.

2. On m'a cité aussi les phrases suivantes «Qui paye commande. — C'est la science qui bénéficie des sommes, mais c'est l'Etat qui les octroie, c'est donc ce dernier qui commande. — L'Etat propose l'asservissement par la force, la science la liberté par la vérité. Les faire coopérer implique une contradiction». On m'a demandé ce qu'on avait fait pour parer à ce danger.

Pour répondre à cette question, j'aimerais me référer aux conditions toutes particulières qui existent en Suisse. Notre petit pays démocratique a très peu d'aspirations à la puissance et les tendances de nos autorités à se servir de la science dans des buts politiques sont pratiquement inexistantes. Indépendamment de cela, chaque Etat a aussi une mission

culturelle à accomplir et nous avons en la personne de Monsieur le Conseiller fédéral Etter un garant éminent de notre pleine liberté. C'est lui qui a exprimé le désir que le Fonds national soit libre, et nous pouvons dire avec fierté qu'en Suisse l'Etat donne de l'argent mais n'essaie en aucune façon d'imposer son influence.

3. Un troisième interlocuteur veut savoir si les musées ne pourraient avoir les mêmes facilités que les commissions de recherches du Fonds national qui disposent de certains fonds pour les subsides qu'elles attribuent directement. En ce qui concerne les jeunes chercheurs surtout, les musées auraient la possibilité de recruter de nouveaux éléments actifs.

Cette question prouve que, malgré de nombreuses publications, la structure du Fonds national n'est pas encore assez connue. Les commissions de recherche de la S.H.S.N. — dans le domaine des sciences exactes — et de la Société suisse des Sciences morales — dans le domaine des sciences morales — seraient certainement disposées à traiter directement des requêtes de ce genre présentées par les musées pour autant qu'elles concernent l'encouragement des jeunes chercheurs et — lorsqu'il s'agit de projets de recherche — de les transmettre avec préavis au Conseil national. La route est déblayée, il s'agit maintenant de l'utiliser!

4. Enfin, on nous propose encore la création d'un dictionnaire de terminologie — une *terminologia comparata* — pour tout ce qui concerne les sciences naturelles. Il s'agit d'une suggestion qui semble des plus heureuse vu la confusion babylonienne qui existe dans plusieurs disciplines. Si un groupe d'éditeurs présentait un projet bien conçu je suis presque certain qu'il rencontrerait l'approbation du Conseil de la recherche. Mais, là aussi, l'initiative doit provenir des savants et non du Fonds national. On pourrait peut-être lui reprocher cette attitude passive; il lui est cependant plus facile d'accepter cette critique que le reproche de vouloir s'imposer comme dictateur de la science en Suisse.

Par ces indications, j'ai essayé de vous donner un aperçu de nos réflexions, de nos joies et de nos soucis. La collaboration amicale du Conseil de la recherche au cours de ces sept années est l'une des choses les plus belles auxquelles il m'ait été donné de contribuer et je voudrais, ici aussi, remercier ses membres pour cette activité qui leur a occasionné des jours et des nuits de travail acharné et lourd de responsabilités. Nous sommes heureux de constater que les dépenses administratives de notre Fonds sont — en proportion du budget général — bien plus modestes que celles de n'importe quelle fondation à l'étranger. Ceci n'a pu être réalisé que grâce au travail enthousiaste et désintéressé du secrétariat. Nous sommes aussi fiers de pouvoir dire que, jusqu'à présent, un tiers des moyens du Fonds national a été consacré aux recherches dans les sciences morales et que nous sommes, par ce pourcentage à la tête de toutes les autres fondations du monde. Ceci est dû surtout à la personnalité supérieure du professeur WERNER NÄF, dont le décès a laissé un vide que rien ne saurait combler. La science suisse lui doit une extrême reconnaissance pour la manière noble et généreuse dont il jugeait de toutes les questions se rapportant aux sciences morales.

Je suis chaque fois agréablement surpris, lors de mes rencontres avec les membres des commissions des Chambres ou les représentants du Conseil fédéral, de voir quelle confiance nous accordent ces organes officiels. Puisse l'idée que les moyens du Fonds national sont un bien commun, qui appartient à tous les savants suisses, dont ces derniers sont responsables, prendre de plus en plus pied dans notre pays et être ainsi la garantie la plus sûre que les sommes considérables qui nous sont confiées sont employées judicieusement et administrées avec soin et conscience. C'est par cette attitude que nous, savants suisses, pouvons le mieux remercier notre gouvernement de la confiance pratiquement illimitée qu'il nous accorde et envisager avec fierté et enthousiasme les futures réalisations de la science suisse, qui doit faire honneur à une ancienne et belle tradition.

Möglichkeiten und Grenzen der kernphysikalischen Forschung

Prof. Dr. P. HUBER, Basel

Trotz der enormen Anstrengungen, die der Klärung des Kernbaus seit den dreißiger Jahren dienen, seither mit unverminderter Intensität andauern und heute auf weltweiter Basis fortgeführt werden, ist das wichtigste Problem dieses Hauptzweiges der Physik keineswegs gelöst. Es zeichnet sich sogar noch kein Weg ab, der eine Klärung herbeizuführen vermöchte. Ungeachtet der großen Forschungserfolge sind wir nach wie vor im tiefen Nebel der Verständnislosigkeit befangen. Wir wissen nicht, und das ist seit Beginn die große Unbekannte, welcher Natur die Kräfte sind, die Neutronen und Protonen so stark in den Kernen zusammenhalten. In der Unwissenheit bezüglich der Kernkräfte unterscheidet sich die Kernphysik grundsätzlich von andern physikalischen Forschungsgebieten, wie Festkörperphysik oder Atomphysik. Die uns bekannten Kräfte, die Gravitationskraft einerseits, die für die Mechanik und viele tägliche Prozesse bedeutungsvoll ist, und die elektrischen Kräfte andererseits, die den Atombau, chemische Vorgänge und die Festkörperphysik regeln, müssen für den Kernbau ausgeschlossen werden, denn ihre Kleinheit genügt keineswegs zur Erklärung der gewaltigen, den Kern zusammenbindenden Kräfte. Denken wir zum Beispiel an das faszinierende Gebiet der künstlichen Erdsatelliten, so läßt sich aus der Gravitationskraft, den auftretenden Reibungskräften und den Anfangsbedingungen der Lauf dieser künstlichen Himmelskörper berechnen. Wäre aber die Gravitationskraft unbekannt, stünden wir einem ähnlichen Problem gegenüber wie es der Atomkern uns darbietet. Vorhersagen wären unmöglich. Alle Details müßten durch spezielle Untersuchungen gefunden werden, wie dies für Wechselwirkungen der Nukleonen heute noch notwendig ist. Das ausgedehnte Wissen über Bindungsenergien, Kernstrukturen, Reaktionen wie Fusion, Atomkernspaltungen oder Streuprozesse, ist auf Grund einzelner Forschungen gefunden worden. Aus Massenbestimmungen der Kerne und der Kenntnis der Nukleonenmassen war es möglich, die Kernbindungs-

energien anzugeben, die aussagen, daß die mittlere Bindungsenergie pro Nukleon zirka 8 MeV beträgt. Ebenfalls lassen sich aus Massenbestimmungen Energietönungen von Reaktionen berechnen. Detaillierte Studien von Reaktionsprodukten als Funktion der einfallenden Geschosenergie ermöglichten, Kernzustände der betreffenden Zwischenkerne zu ermitteln. Die in vielen Aspekten so unglaublich wichtig gewordene Kernspaltung war nicht mit Hilfe von Grundlagenkenntnissen voraus sagbar, sondern mußte experimentell in allen Einzelheiten erschlossen werden. Diese Situation ist immer noch typisch für die Kernphysik, und viele Nichtfachkreise mögen durch die große Zahl der entdeckten Erkenntnisse der Meinung sein, die gegenwärtige Forschung gälte nur mehr noch einem weiteren Ausbau, und doch ist das Zentralproblem nach wie vor in Dunkel gehüllt. Die Situation ist vollständig analog derjenigen auf dem Sektor der chemischen Elemente, bevor die Quantentheorie und das Pauliprinzip Bestandteile unseres Wissens waren, oder der Himmelsmechanik vor der Entdeckung des Gravitationsgesetzes. Aber selbst die vollständige Kenntnis der Kraft, die zwischen zwei Nukleonen existiert, wäre noch nicht ausreichend, um das Verhältnis einer Gesamtheit von Protonen und Neutronen exakt zu berechnen. Da es sich hier um ein Mehrkörperproblem handelt, bestünde die Aufgabe darin, Näherungsrechnungen zu finden, die das exakte, aber unlösbare Problem zu einem lösbaren machen, dessen Lösung aber den Sachverhalt nicht ganz richtig wiedergäbe. Hieraus erhellt die Bedeutung der kernphysikalischen Forschung. Es geht um nichts Geringeres als um die Erfassung einer dritten Fundamentalkraft, die für den Zusammenhalt der Kerne verantwortlich ist. Wenn wir uns in Erinnerung rufen, welche Bereicherung das naturwissenschaftliche Wissen und welchen Nutzen die Praxis durch die Gravitationskraft und die elektrischen Kräfte erfahren haben, so vermögen wir uns auszumalen, vor welcher inhaltsreichen Aufgabe die kernphysikalische Forschung steht.

Auf diesem Hintergrunde ist es klar, daß heute ein so großer Teil der Forschung kernphysikalischen Arbeiten gewidmet wird. Daß unser Land hier regen Anteil nimmt, ist ein gutes Zeichen. Manche Kritiker unserer Verhältnisse huldigen zwar der Ansicht, es müßte mehr Forschungsarbeit der Hochschulen anderen Gebieten zukommen, die der wirtschaftlichen Entwicklung unseres Kleinstaates wesentlich geeignetere und industriell unmittelbar ausnützbare Ergebnisse liefern würden. Diese Ansicht taxiert aber die Grundlagenforschung an den Hochschulen als Zweckforschung und mißt sie nach kommerziellen Maßstäben. Dadurch würde die freie Forschung so eingeengt, daß ihre wichtigste Funktion, ins Neuland der unbekanntenen Natur vorzustoßen und dem menschlichen Geiste Unbekanntes zu offenbaren, verlorenginge. Dies soll nicht heißen, daß alle bei uns aufgenommene Aktivität auf dem Gebiete der Kernphysik unterstützungswürdig ist. Die vermehrt zur Verfügung stehenden Mittel auf diesem Felde haben ab und zu nur eine wissenschaftliche Betriebsamkeit gefördert ohne Intensivierung der wirklichen Forschungsarbeit.

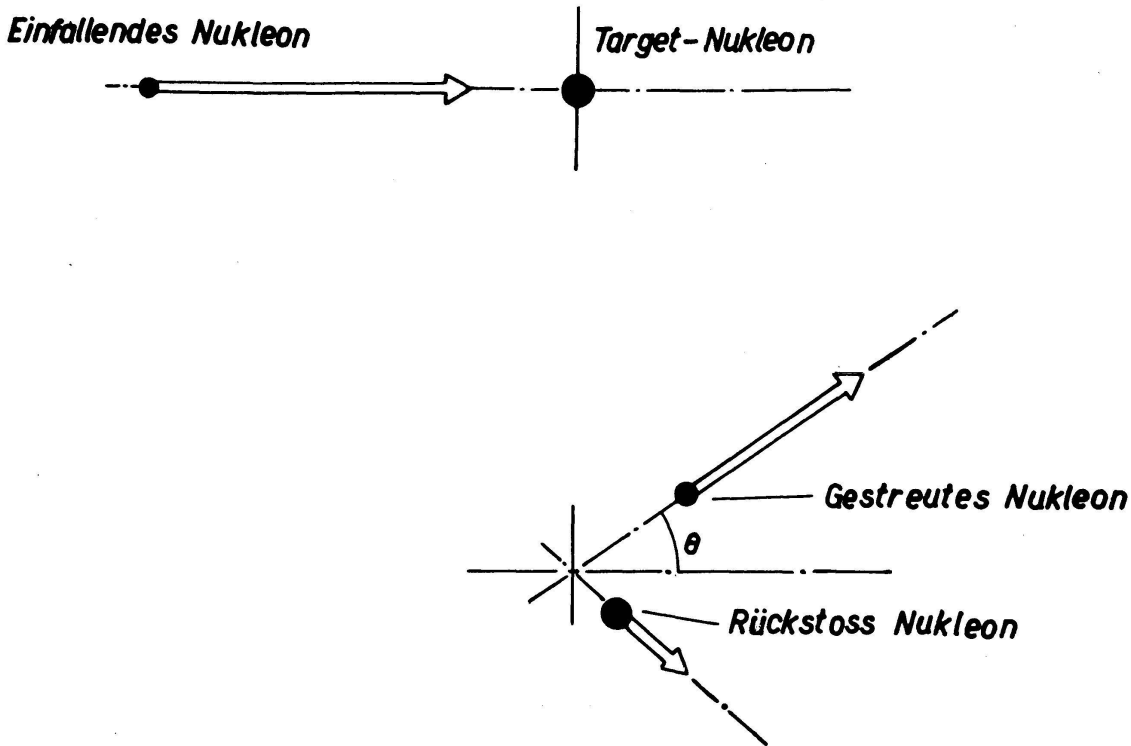


Fig. 1

Streuexperiment. Die Richtungsverteilung des gestreuten Nukleons wird in Funktion des Streuwinkels θ gemessen

Die dargelegte Situation bringt es mit sich, daß die kernphysikalische Forschung neben theoretischen Arbeiten ganz wesentlich experimenteller Untersuchungen bedarf. Um aus Kernen, deren mittlere Bindungsenergie pro Nukleon zirka 8 MeV beträgt, einzelne Kernteilchen abzuspalten, braucht es mindestens Energien dieser Größenordnung. Praktisch werden atomare Geschosse zur Zerlegung von Kernen benützt, die mit Hilfe von Beschleunigungsanlagen, wie Kaskadengenerator, Van de Graff oder Zyklotron, auf genügend hohe Geschwindigkeit gebracht werden. Man bezeichnet den Energiebereich, für den die beschleunigten Teilchen aus den Kernen Nukleonen oder Agglomerate davon abspalten, ohne daß sie neue Partikel, wie Mesonen, Hyperonen oder Antinukleonen, zu erzeugen vermögen, als die Kernphysik kleiner und mittlerer Energien. Dieser Bereich reicht bis zirka 100 MeV. Die Hochenergie-Kernphysik dagegen beschäftigt sich mit Reaktionen, bei denen neue Elementarteilchen auftreten, Vorgänge, die zuerst mit Hilfe der kosmischen Strahlung entdeckt wurden.

Auf der Stufe der Kernphysik kleiner Energien steht einmal das Problem der Wechselwirkungen zweier Nukleonen im Vordergrund. Aus solchen Studien hofft man, wesentliche Eigenschaften der Kernkräfte kennen zu lernen. Wichtige Informationen liefern hier sogenannte Streuexperimente, für die Nukleonen verschiedener Energien auf Targetnukleonen geschossen und ihre Intensitäten in Funktion des Streuwinkels gemessen werden (Fig. 1). Resultate solcher Messungen ergeben

Stabilität von Kernen, die entweder in der Protonen- oder Neutronenzahl magisch sind (Fig. 2). Sie entspricht einer geschlossenen Schale der betreffenden Nukleonen. Eine Analogie mit den geschlossenen Elektronenschalen in der Atomhülle der Edelgase drängt sich auf.

MARIA MAYER¹ und unabhängig von ihr HAXEL, JENSEN und SUESS² konnten zeigen, daß für die magischen Zahlen geschlossene Nukleonenschalen auftreten, wenn die Nukleonen sich unabhängig in einem von den anderen Nukleonen erzeugten Kernpotential von bestimmter Form bewegen und zusätzlich einer starken Spin-Bahnkopplung unterworfen sind. Dies bedeutet, daß die Energie des betreffenden Nukleons in starkem Maße vom Bahndrehimpuls und seiner Orientierung zum Spin abhängt. Damit wird jedes Kernniveau in deren zwei aufgespalten, und wegen der Abhängigkeit der Aufspaltungsenergie vom Bahndrehimpuls entstehen Gruppen von Kernniveaus, die energetisch deutlich von den Nachbargruppen getrennt sind, was einem Schalenaufbau des Atomkernes gleichkommt. Diese Annahme der Spin-Bahnkopplung ermöglichte es neben der Klärung der magischen Zahlen, eine unerwartet große Anzahl von Kerndaten zu deuten, wie die Spins, magnetische Momente, Paritäten der meisten Grundzustände mit ungerader Massenzahl und weitere Eigenschaften von Kernniveaus. Das Schalenmodell erwies sich als großer Erfolg.

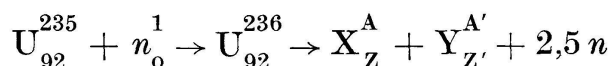
2. *Kernspaltung*. Bedarf die Schalenstruktur zu ihrer Erklärung eines Einteilchenmodells, so ist für das Verständnis der Kernspaltung eine ganz andere Konzeption der Kernmaterie nötig. Es ist das Tröpfchenmodell von N. BOHR, das eine starke gegenseitige Kopplung aller Nukleonen postuliert. Zwei große Linien weisen heute den Weg für die Entwicklung von Kernmodellen: Kernmodelle mit starker Wechselwirkung, die den Kern als eine Ansammlung von eng gekoppelten Teilchen behandelt, und Einteilchenmodelle, die den einzelnen Nukleonen eine ziemlich individuelle Bewegungsfreiheit einräumen im Feld der übrigbleibenden Kernmaterie. Beide Modelle liefern für gewisse Aspekte des Verhaltens der Kerne zutreffende Aussagen, und es zeigt sich hier eben, wie kompliziert es ist, eine einheitliche Kerntheorie zu finden, die imstande wäre, alle Kerneigentümlichkeiten wiederzugeben. Das Tröpfchenmodell ist wohl das einfachste unter den heutigen Kernmodellen. Die Grundannahme besteht darin, daß die mittlere freie Weglänge der Nukleonen in der Kernmaterie klein ist gegenüber den Kerndimensionen. In diesem Sinn verhält sich der Kern wie ein makroskopisches Flüssigkeitströpfchen, für das die mittlere freie Weglänge der Flüssigkeitsmoleküle klein ist gegenüber dem Tropfendurchmesser. Dieses Modell scheint im Hinblick auf die starken und kurzreichweitigen Kernkräfte evident, und es entspricht auch der Erfahrungstatsache, daß mit Ausnahme der leichtesten Kerne die Dichte und die mittlere Bindungsener-

¹ M. MAYER, Phys. Rev. 74, 235, 1948.

² HAXEL, JENSEN und SUESS, Naturwiss. 35, 376, 1948.

gie pro Nukleon praktisch konstant bleibt. Mit diesem Modell war es BOHR und WHEELER möglich, die wesentlichen Eigenschaften der Kernspaltung aufzuklären. Feinere Details, wie der Zerfall in eine leichtere und eine schwerere Gruppe, und speziellere Eigenschaften der Kernstruktur vermag es nicht zu bestimmen.

Mit der Entdeckung der Kernspaltung im Jahre 1939 durch HAHN und STRASSMANN und der wenige Monate darauf von JOLIOT und seinen Mitarbeitern gefundenen Tatsache, daß bei der Spaltung des Urankernes ebenfalls Neutronen entstehen, hat bekanntlich eine folgenschwere und inhaltsreiche Entwicklung ihren Anfang genommen. Wir stehen heute wohl erst am Anfang aller dieser Auswirkungen, die ja Ausstrahlungen erzeugen, die weit über das engere Forschungsgebiet der Physik hinausreichen. Die Spaltung des Urans 235 in zwei Bruchstücke, die bei Bestrahlung mit langsamen Neutronen entsteht, kann wie folgt beschrieben werden:



Es zeigt sich, daß dieser Kernzerfall auf sehr viele Arten möglich ist, wobei sich eine Gruppe von leichteren (X) und eine Gruppe von schwereren Kernen (Y) bildet. Die eine Gruppe umfaßt Kerne mit der Massenzahl 80 bis 108, die andere von 127 bis 154 (Fig. 3). Am häufigsten entstehen die beiden Bruchstücke mit den Massenzahlen 95 und 139, und zwar in 6% aller Fälle. Es sind bisher mehr als 80 Zerfallsprodukte nachgewiesen worden, so daß mindestens 40 verschiedene Zerfallsmöglichkeiten existieren. Bezüglich des Zerfalls zeigen U^{235} und U^{238} einen wesentlichen Unterschied, indem nur U^{235} mit thermischen Neutronen eine Spaltung vollführt. Dies hängt damit zusammen, daß für den Spaltprozeß eine Aktivierungsenergie notwendig ist. Man kann das anhand des Tröpfchenmodells sehr schön verstehen. Im Ausgangszustand ist der Tropfen kugelförmig. Durch eine kleine Anregung wird er zu einem Ellipsoid deformiert. Wenn keine weitere Anregung erfolgt, bringen die Oberflächenkräfte den Tropfen wieder in die ursprüngliche Form zurück. Erfolgt aber eine größere Anregung, so wird das Tröpfchen noch mehr deformiert, und es kommt der Moment, in dem die abstoßenden Coulombkräfte zwischen den beiden Tropfenteilen größer sind als die Oberflächenkräfte. Dann erfolgt die Spaltung. Man kann den Vorgang auch so darstellen, daß man sagt, es müsse zuerst ein Potentialberg überwunden werden, bevor die Bruchstücke sich voneinander trennen.

3. *Neutronen-Wirkungsquerschnitte.* Als letztes Beispiel seien Messungen über Neutronen-Wirkungsquerschnitte angeführt. Es handelt sich hier um die Bestimmung von totalen und differentiellen Querschnitten. Neutronen sind für die Erforschung von Kerneigenschaften ideale Objekte, da sie im Gegensatz zu Protonen beim Eindringen in die Kerne keine Coulombsche Abstoßungskraft erleiden. Sie erfahren ausschließlich Wechselwirkungen mit dem Atomkern und sind daher

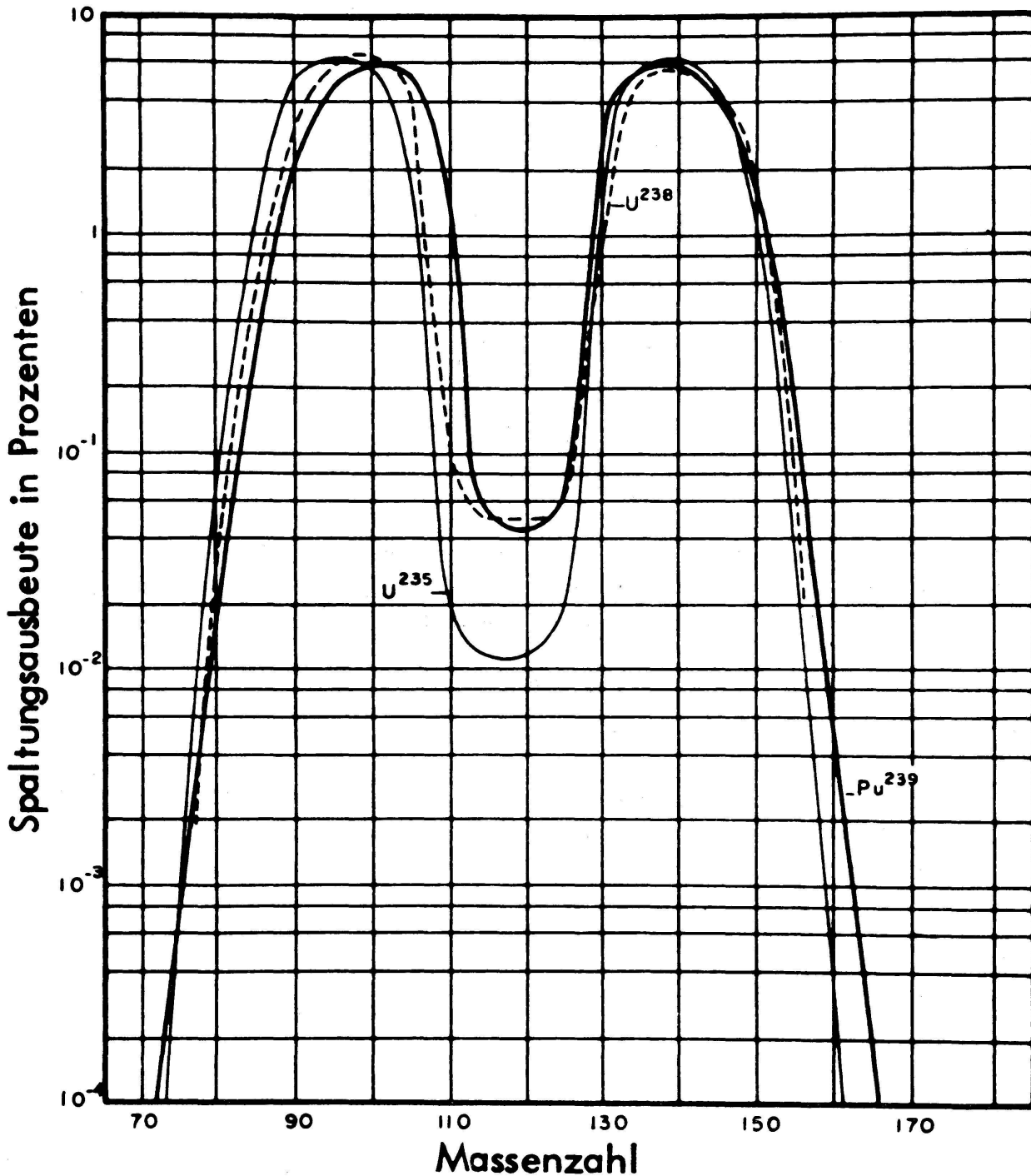


Fig. 3 Häufigkeit der entstandenen Massenzahlen bei der Spaltung von U^{235} , U^{238} und Pu^{239}

ausgezeichnete Sonden für seine Strukturaufklärung. Der Vorzug der Ladungsfreiheit bringt aber auch eine gewisse Erschwerung für den mit Neutronen hantierenden Physiker, was jeder kennt, der einmal mit diesen Partikeln gearbeitet hat. Sie lassen sich außerordentlich schwierig abschirmen. Feine ausgeblendete Neutronenstrahlen herzustellen, wie dies bei Protonen, Deuteronen und α -Teilchen gelingt, ist ausgeschlossen. Die Auseinandersetzung mit dem Neutronenuntergrund gehört daher zum täglichen Brot des Neutronenphysikers.

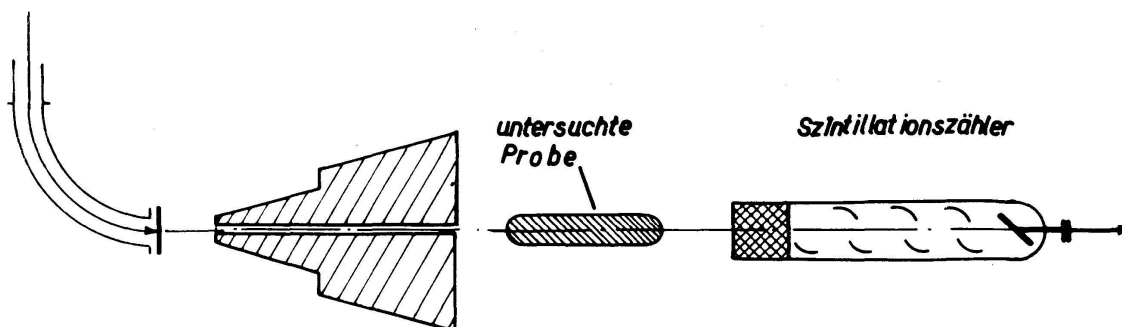


Fig. 4

Anordnung für die Bestimmung von totalen Neutronenquerschnitten mit Hilfe eines Transmissionsexperimentes

Der totale Neutronenwirkungsquerschnitt schließt alle Kernwechselwirkungen ein, die aus einem parallelen Neutronenbündel Neutronen ausscheiden. Zu seiner Messung wird die sogenannte Transmissionmethode benützt. Sie besteht darin, daß die Schwächung eines Neutronenbündels beim Durchgang durch die zu untersuchende Materialprobe gemessen wird (Fig. 4). Ist die Intensität des Bündels ohne Absorber I_0 , mit Absorber I und besitzt der Absorber n Kerne pro Volumeinheit und eine Länge x , so gilt:

$$I = I_0 e^{-n\sigma x}$$

wobei σ den totalen Querschnitt angibt. Bei dieser Messung müssen aber ganz wichtige Korrekturen für den Untergrund angebracht werden, die die Arbeit wesentlich erschweren.

Figur 5 stellt die Messung des totalen Querschnittes des Stickstoff-Isotops N^{15} dar, wie er in Basel¹ bestimmt wurde. Es zeigt sich in dem

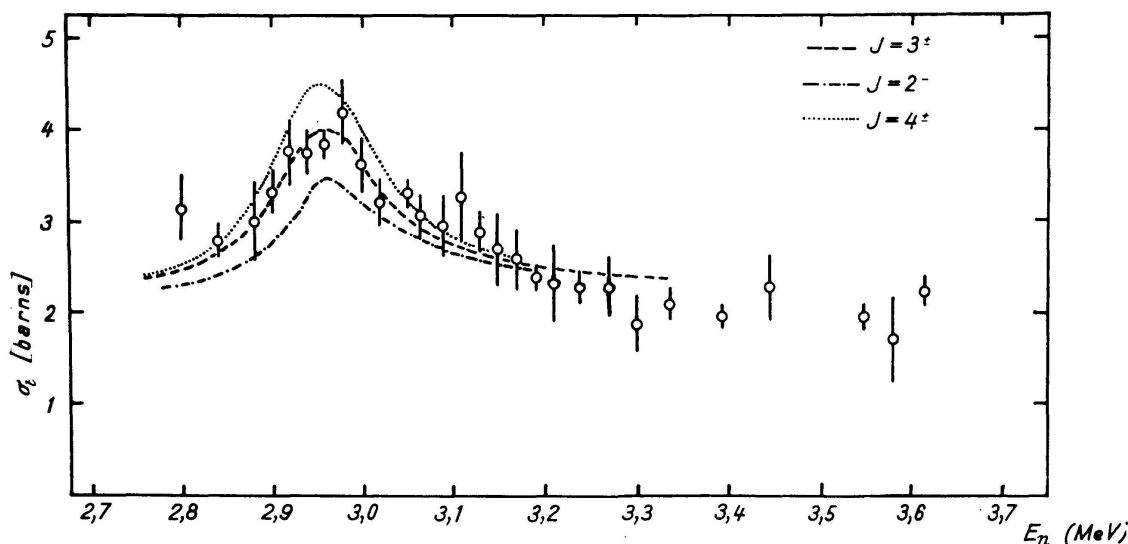


Fig. 5 Totaler Neutronenquerschnitt für das Stickstoff-Isotop N^{15}

¹ SCHELLENBERG, BAUMGARTNER, HUBER und SEILER, HPA Bd. XXXII, 357, 1959.

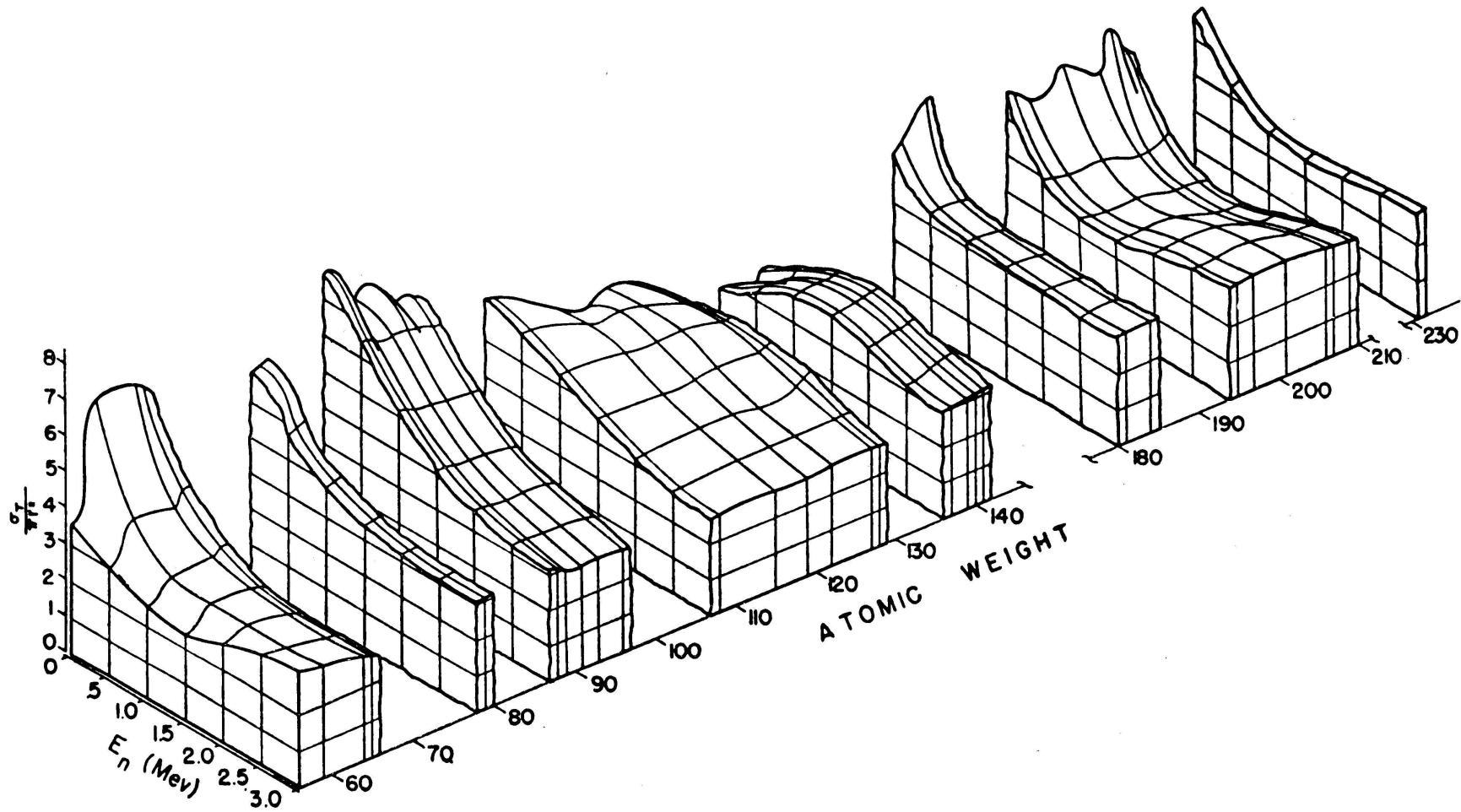


Fig. 6 Totaler Neutronenquerschnitt für verschiedene Massenzahlen und Neutronenenergien E_n (BARSCHALL und Mitarbeiter)

untersuchten Energieintervall eine breite Resonanz, eine typische Erscheinung solcher Messungen. Je nach der Art des angeregten Niveaus erscheinen breitere oder schmalere Resonanzen. Figur 6 gibt Meßresultate von BARSCHALL¹ und Mitarbeitern über totale Querschnitte an einer großen Zahl von Elementen wieder für Energien von einigen keV bis zu 3 MeV. Ausgeprägte Resonanzen, die von individuellen Eigenschaften spezieller Kerne herrühren, sind bei der Darstellung weggelassen worden, um den allgemeinen Charakter des Querschnittverlaufes herauszuheben. Die theoretische Deutung dieser Messungen war besonders interessant, weil sie zeigte, daß der Kern für schnelle Neutronen nicht vollständig undurchsichtig ist, wie frühere Berechnungen annahmen und was auch den Vorstellungen des Einteilchenmodelles nicht entspricht. Die Erfolge der Schalentheorie beruhten gerade auf der Einsicht, daß der Energieaustausch zwischen den Nukleonen im Kern stark beschränkt ist. Diese Annahme wurde nun ebenfalls in die Theorie für den totalen Wirkungsquerschnitt aufgenommen, so daß der Kern etwas durchsichtig wird für einfallende Nukleonen. Das so entstandene Modell ist das optische Kernmodell. Die nach ihm berechneten totalen Neutronenquerschnitte stimmen qualitativ gut mit den experimentellen Ergebnissen überein.

Neben dem totalen Streuquerschnitt ist auch die Kenntnis des differentiellen Querschnittes für die Klärung von Kernniveaus von größtem Interesse. Hier geht es um die Frage, wie die Winkelverteilung der gestreuten Neutronen gegenüber dem einfallenden Neutronenstrahl aussieht. Figur 7 zeigt differentielle Neutronenquerschnitte von He⁴, wie sie in Madison (USA) und Basel gemessen wurden². Auf der Abszisse ist der Cosinus des Streuwinkels, auf der Ordinate der entsprechende Querschnitt aufgetragen. Man erkennt: bei Neutronenenergien unter 1,4 MeV zeigt sich eine ausgeprägte Rückwärtsstreuung ($\cos \theta = -1$, $\theta = 180^\circ$). Bei höheren Energien dagegen wird die Vorwärtsstreuung überwiegend. Vergleicht man diese Ergebnisse mit solchen der Protonenstreuung an Helium, ergibt sich die wichtige Tatsache, daß bezüglich der Kernkräfte beide Teilchen sich gleich verhalten.

Mit diesen wenigen Beispielen versuchte ich, Ihnen aus den Ergebnissen der Kernphysik kleiner Energien eine Auswahl darzubieten, um damit die Arbeitsweise dieser Forschungsrichtung aufzuzeigen. Zur Ergänzung sollen nun zwei Beispiele aus der Hochenergiephysik kommen. Hier handelt es sich in erster Linie um ein Studium der Eigenschaften der Elementarteilchen. Das Proton, ein typisches Elementarteilchen, besitzt eine elektrische Ladung, bestimmbar durch Messung der elektrostatischen Kraft zwischen zwei Protonen. Wenn ein Proton eine außerordentlich hohe Beschleunigung erfährt, emittiert es π - und K-Mesonen. Im Gegensatz zur elektromagnetischen Strahlung, die bei weniger hohen Beschleunigungen emittiert wird, besitzt die mesonische Strahlung eine

¹ BARSCHALL, Phys. Rev. 86, 431, 1952.

² HUBER und BALDINGER, HPA 25, 435, 1952.
STRIEBEL und HUBER, HPA 30, 67, 1957.

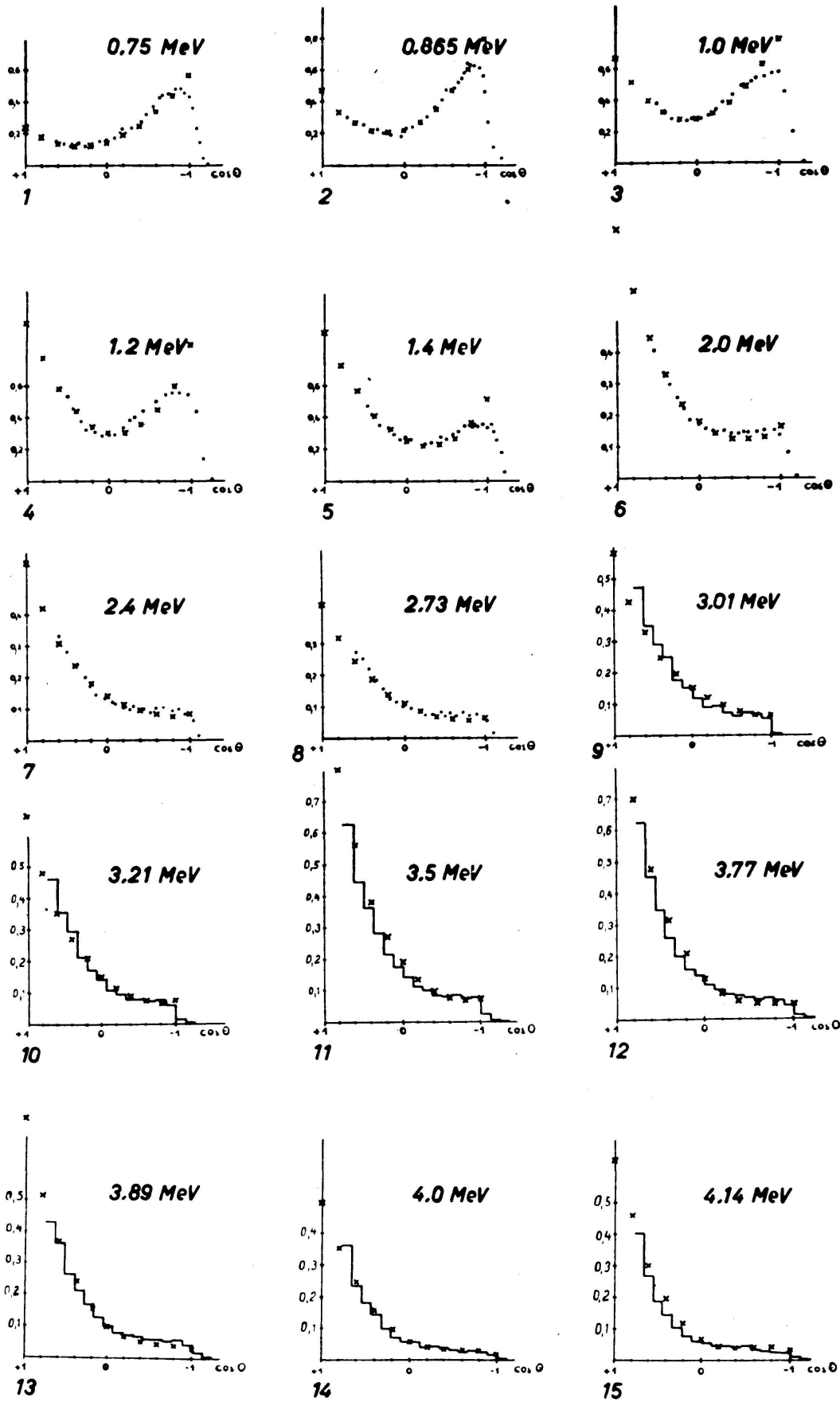
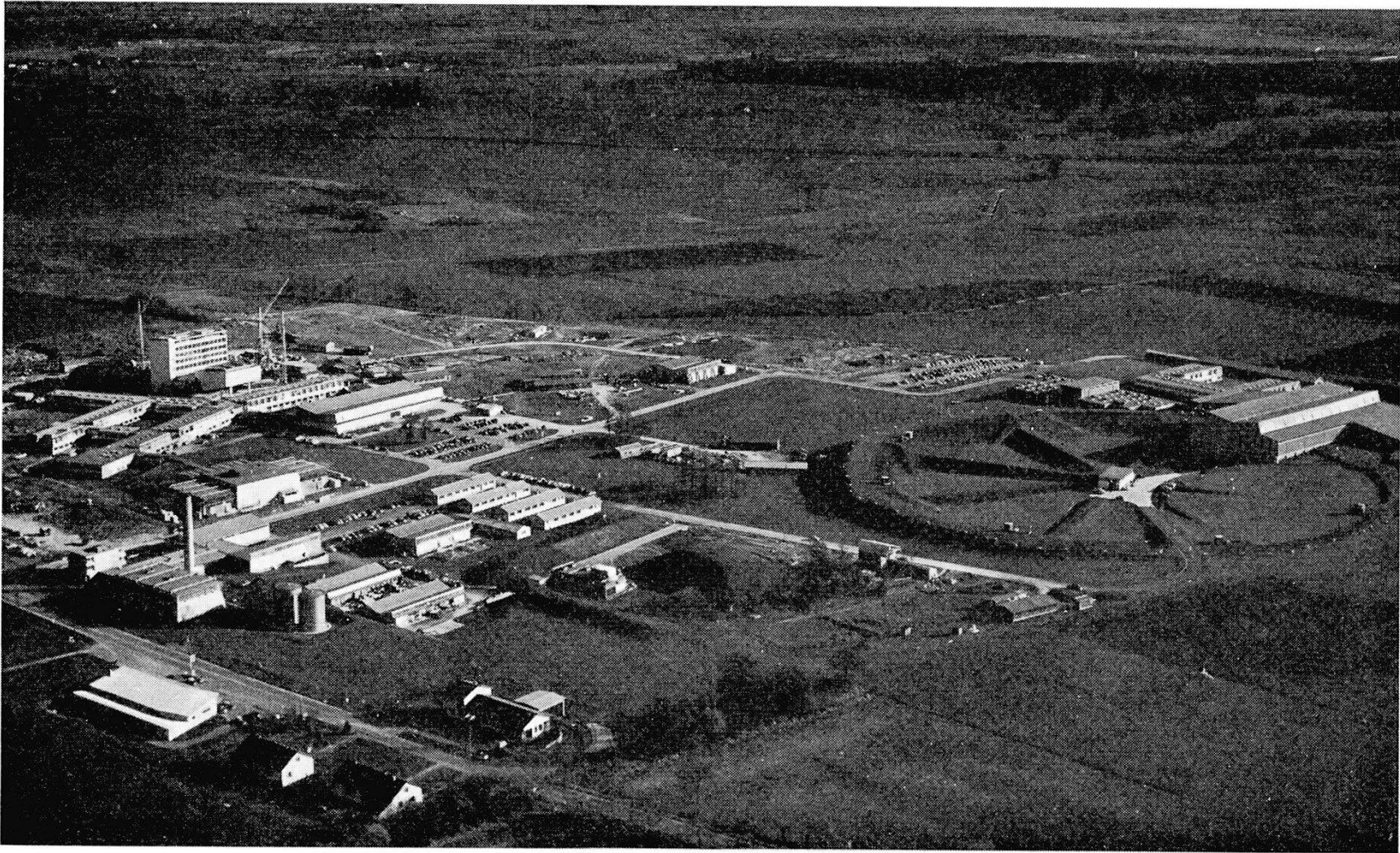


Fig. 7 Differentieller Querschnitt von Helium für verschiedene Neutronenenergien

Ruhmasse. Daher muß nach der EINSTEINSchen Masse-Energie-Beziehung genügend Energie zur Erzeugung dieser Teilchen zur Verfügung stehen. Für das π -Meson sind 140 MeV, für das K-Meson 700 MeV notwendig. Die Herstellung einer K-mesonischen Strahlung verlangt Teilchen, deren Energie mindestens 1 BeV (= 1000 MeV) beträgt. In Figur 8 sehen wir die am CERN im Bau befindliche 25-BeV-Maschine. Eine wirkungsvolle Methode für die Produktion von K-Mesonen gibt die Bombardierung von Protonen mit π^- -Mesonen. Figur 9 zeigt ein Ereignis, bei dem ein π^- -Meson in eine Blaskammer mit flüssigem Wasserstoff eintritt. Die Spur wird von kleinen Dampfbläschen markiert, die längs des Weges des geladenen Teilchens erzeugt werden. Wenn das Meson ein Proton trifft, können neben anderen Prozessen zwei neutrale Teilchen entstehen. Ihrer Ladungslosigkeit wegen hinterlassen sie keine Spur, da sie den Wasserstoff nicht aufheizen. Das eine Teilchen, ein neutrales K-Meson, zerfällt nach einer gewissen Laufstrecke in ein π -Mesonenpaar, das sich als V-förmige Spur bemerkbar macht. Das andere Teilchen ist ein Λ^0 -Teilchen, das nach einer gewissen Strecke in ein Proton und ein π^- -Meson zerfällt, was sich ebenfalls durch eine V-förmige Spur kundtut. Zwei wichtige Tatsachen lassen sich an diesem Ereignis feststellen: 1. Durch Emission des K-Mesons verwandelt sich das Proton in ein Λ^0 -Teilchen. 2. Die Laufstrecken des K^0 - und des Λ^0 -Teilchens bis zum Zerfall betragen einige Zentimeter, und daher ist die Lebensdauer dieser Teilchen für Kernverhältnisse außerordentlich lang, eine ganz unerwartete Eigenschaft. Sie hängt mit der Tatsache zusammen, daß diese Teilchen nur in Paaren und nie einzeln erzeugbar sind. Als zweites Beispiel sei ein Antiproton-Proton-Ladungsaustausch angeführt (Figur 10). Das Antiproton \bar{p} trifft von oben in die Blaskammer ein und verschwindet plötzlich in einem durch den Pfeil angegebenen Punkt. Hier findet die Reaktion $\bar{p} + p \rightarrow \bar{n} + n$ statt, wobei sich das Antiproton \bar{p} mit einem Proton p in ein Antineutron \bar{n} und ein Neutron n umwandelt. Weiter unten ist die Annihilation des Antineutrons mit einem Proton sichtbar, was Anlaß zu einem fünfzweigigen Stern gibt, entsprechend der Reaktion $\bar{n} + p \rightarrow 3\pi^+ + 2\pi^-$.

Diese Beispiele sollen zur Illustration der Hochenergiephysik genügen, die heute ein außerordentlich interessantes Forschungsgebiet darstellt, das Einblick in die eigentliche Struktur der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen zu bringen vermag. Zudem glaubt man, diese Einsichten werden zum Verständnis der Kernkräfte wesentlich beitragen.

Nach dem kurzen Überblick sei nun die Frage gestellt, welche Aufwendungen die Forschungen auf dem Gebiet der Kernphysik verlangen. Darunter fallen sowohl wissenschaftliches und technisches Personal als auch finanzielle Mittel zur Durchführung eines Programmes. Der Aufwand für die Kernphysik hoher Energien und derjenige für mittlere und kleine Energien unterscheidet sich um Potenzen. Der Kostenvoranschlag zum Beispiel für die 25-BeV-Maschine am CERN beträgt zirka 70 Millionen Franken. Ein Kaskadengenerator oder ein Van-de-



4
Fig. 8 Ansicht des CERN. Die Anlage für das 25-BeV-Protonensynchrotron ist rechts im Bilde sichtbar mit dem 200 m im Durchmesser messenden Beschleunigungsrohr, das sich unter dem ringförmigen Erdhügel befindet. Die acht radialen Kanäle dienen für geodätische Vermessungskontrollen. Die Experimentierhalle ist rechts oben sichtbar

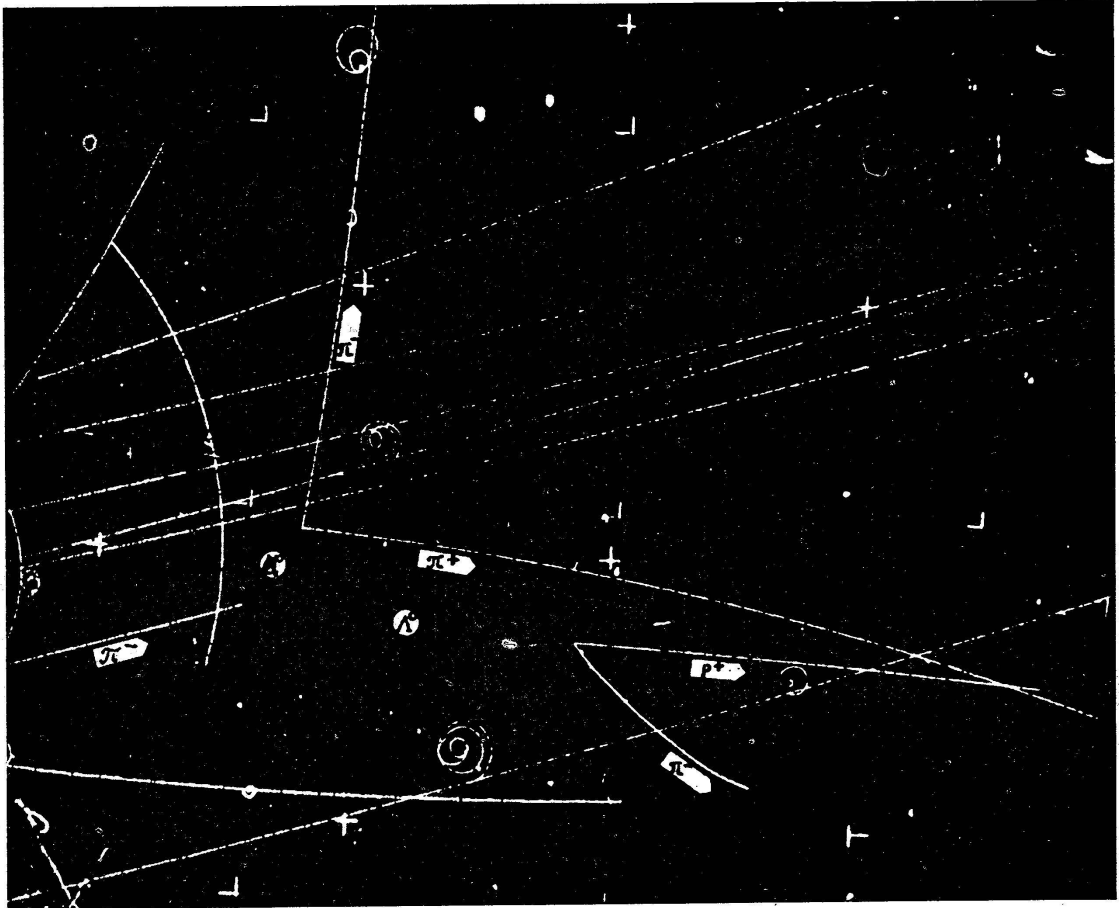


Fig. 9

Wechselwirkung eines π^- -Meson mit einem Proton und Produktion eines neutralen K-Mesons und eines Λ^0 -Teilchens. (Radiation Laboratory, University of California, Berkeley)

Graaff-Generator für 4 MeV kostet dagegen zirka 1 000 000 Fr. Dazu kommt, daß die großen Maschinen ein entsprechendes Bedienungspersonal brauchen und daß ein genügend großer wissenschaftlicher Mitarbeiterstab da sein muß, damit die teuren Einrichtungen voll ausgenutzt werden. Es machen sich hier Gesichtspunkte bezüglich Ausnutzungszeit bemerkbar, die bisher nur industriellen Unternehmen eigen waren. Das Budget des CERN zum Beispiel beläuft sich für 1959 auf $55 \cdot 10^6$ Franken. Im Gegensatz dazu läßt sich ein Projekt aus der Kleinenergie-Kernphysik mit einer Mitarbeiterzahl von 3–4 Physikern und entsprechendem Hilfspersonal für einige 100 000 Fr. durchführen. Daß auch hier die in den dreißiger Jahren üblichen Hilfsmittel vollständig ungenügend geworden sind, soll nicht mit untauglichen Mitteln geforscht werden müssen, ist klar. Die Forschungsarbeit wurde wesentlich komplizierter und viel differenzierter und bedarf teilweise sehr teurer Apparate.

Die Anlagen für Hochenergie-Physik, ihr Betrieb und Unterhalt überschreiten heute die Möglichkeiten einer einzelnen Universität. Es betrifft dies Einrichtungen, die nur noch als größere Gemeinschaftsarbeit realisierbar sind, es sei denn, dem betreffenden Institut stünden

sehr große Hilfsmittel zur Verfügung. Gemeinschaftsunternehmungen für die Hochenergiephysik setzten sich immer mehr durch, und ein Land wie die Schweiz ist bereits eine zu kleine Einheit, um Institutionen im Ausmaße des CERN zu finanzieren.

Mit diesen Feststellungen sind wir mitten drin in den Auseinandersetzungen über die Möglichkeiten und Grenzen der kernphysikalischen Forschung in unserem Lande. Bei der Diskussion über die Unterstützung der kernphysikalischen Forschung wird oft die Frage gestellt, ob es überhaupt möglich sei, im kleinen Rahmen einer Universität gute Grundlagenforschung in Kernphysik zu betreiben, und es wird die Meinung vertreten, die gesamte Forschung sei an einem Ort zu zentralisieren. Solche Überlegungen sind durchaus berechtigt. Sie können aber weder mit Ja noch mit Nein beantwortet werden. Ob größere Gemeinschaftsunternehmen oder mehr individuelle Forschung richtig sei, hängt vom Problem ab. Aufgaben, wie sie vom CERN gelöst werden wollen, sind offensichtlich nur von einem zentralisierten Institut durchführbar. Für die Schöpfung grundlegender Ideen, das Durchdenken von Zusammenhängen und das Auffinden neuer experimenteller Methoden sind Universitäten und Hochschulen dagegen selbst heute noch die besten Stätten. Der Anfang eines guten Einfalles bleibt ein Mysterium, und großangelegte Betriebe mit ihrer unvermeidlichen Bürokratisierung bilden für solche Geheimnisse kaum den trächtigen Nährboden.

Die Koordination von Forschungsarbeiten und das Teamwork, über deren Wert heute sehr viel gesprochen wird, sind unerläßliche Dinge, sofern bereits ein feststehendes Forschungsprogramm zur Verfügung steht. Bis es aber klar ausgearbeitet vorliegt, bis die zu beantwortende Fragestellung scharf herausgeschält ist, läßt sich die Arbeit nicht koordinieren, da sie einem Suchen im Dunkeln gleichkommt. Dem ersten Schritt in der Kette einer Forschungsarbeit kommt grundlegende Bedeutung zu. Er bestimmt die Wegrichtung ins Neuland der Entdeckungen. Die Konzeption der Forschungsidee ist eine nicht koordinierbare schöpferische Leistung. Sie kann in Diskussionen und Auseinandersetzungen gefördert werden, wozu aber ein Gespräch im kleinen Kreise am besten paßt. Wenn heute vielfach für die Gewährung von Forschungskrediten als erste Notwendigkeit Koordination verlangt wird, so müssen sich die Geldgeber der Gefahr bewußt sein, damit gerade das schöpferisch Neue nicht zu fördern. Koordination ist dann am Platze und notwendig, wenn der Forschungsgedanke geboren ist und es um seine Ausführung geht. In dieser Hinsicht liefert uns die Fusionsforschung ein gutes Beispiel. Die beträchtlichen Mittel, die die bisherigen Programme erheischten, machten es klar, daß nur größere Zentren sich diesem Gebiete widmen können. Nach anfänglich großen Hoffnungen, Wege zur Verwirklichung der gewaltigen Energiegewinnung zu finden, mußte eingesehen werden, daß noch zu viele unbekannte Erscheinungen die Aussicht auf eine baldige Realisierung versperrten. Bei dieser Sachlage ist es notwendig, neue Ideen zu schaffen, wie an das Problem heranzukommen ist, und spezielle Erscheinungen der Plasmaphysik zu studieren. Hiezu sind



Fig. 10

Antiproton-Proton-Ladungsaustausch (Radiation Laboratory, University of California, Berkeley)

kleine Forschungsstätten sehr passend, sofern die maßgebenden Ideen auftauchen und der Aufwand zu ihrer Durchführung noch tragbar ist. Kleine Forschungsstätten unter guter Leitung besitzen für solche Aufgaben einen besseren Wirkungsgrad als große Zentren. Es wäre falsch, einfach zu dekretieren: Fusionsforschung läßt sich nur in einem zentralen

Forschungslaboratorium bewerkstelligen. Dies wird später für die Verwirklichung eines Fusionsreaktors notwendig werden, ist es aber heute noch nicht, wo es um die Gewinnung der Grunderkenntnisse geht.

Bezüglich unseres Landes ist die Feststellung, daß kleinere wissenschaftliche Zentren unter Umständen den Forschungszielen besser zu genügen vermögen als ein nationales Institut, nicht durch die föderalistische Struktur bedingt, sondern sie ist ein der Forscherpersönlichkeit eigentümliches Charakteristikum, bedingt durch seine individuelle Prägung. Daß unser Föderalismus es fördert, ist eine erfreuliche Tatsache. Eine Bedingung müssen die Hochschulinstitute jedoch erfüllen: Beschränkung auf wenige, originelle, gut durchdachte, ihren Hilfsmitteln angepaßte Forschungsprojekte. Mit einer Kopierung fremder Ideen ohne eigene Zutaten ist uns wenig geholfen. Daneben ist klar, daß die Forscher mit ihren Ideen und ihrem Können das wichtigste Element sind für die durchzuführenden Arbeiten und ihre Qualität, nicht die teuren gekauften Apparate. Diese bleiben Ballast und eine Dekoration, sofern sie nicht sinnvoll eingesetzt werden. Es ist nicht leicht, die Qualitäten eines Einzelforschers oder einer Gruppe in kurzer Zeit zu erkennen. Die Methoden und Wege, die erfolgreich sein können, sind so verschiedenartig, daß eine objektive Wertung schwerfällt. Es haben schon viele, scheinbar unmögliche Mittel zu großen wissenschaftlichen Erfolgen geführt. Was wissenschaftlichen Fortschritt fördert, ist eine Kontinuität der Forschung. Dank der Schaffung der Kommission für Atomwissenschaft und der vom Bund zur Verfügung gestellten Mittel ist ein wesentlicher Anfang dazu gemacht worden. Unter keinen Umständen darf diese Anstrengung wieder abreißen in der Meinung, daß nun der Nachholbedarf der Kernphysik gedeckt sei und sie mit den bis anhin üblichen Mitteln auskommen soll. Nur fortgesetzte Anstrengungen vermögen auch einen gewissen Erfolg zu garantieren.

Die Kernphysik der mittleren und kleinen Energien, die als Forschungsobjekt für unser Land im Vordergrund steht, bietet heute noch immer sehr interessante Forschungsaufgaben, die die grundlegende Frage der Kernkräfte betreffen. Ich möchte hier nur ein Beispiel erwähnen, das als Repräsentant mancher interessanter Projekte dienen muß. Es betrifft die Herstellung und Beschleunigung von polarisierten Teilchen für die Auslösung von Kernreaktionen. Polarisierte Teilchen besitzen einen parallel gerichteten Eigendrehimpuls. Sie vermögen Kernreaktionen mit Geschossen von bekannter Spinrichtung zu erzeugen. Da wir aus andern Untersuchungen wissen, daß die Kernkräfte von der Orientierung der Spins der reagierenden Nukleonen abhängen, geben uns polarisierte Teilchenquellen ganz neue Untersuchungsmöglichkeiten für die Kernmaterie. Erinnern wir uns der enormen Vorteile, die die Benützung des polarisierten Lichtes in der Bearbeitung optischer Phänomene brachte, so gibt uns dies ein Hinweis für die Vorzüge von polarisierten Teilchenquellen. Noch gesteigert wird die Bedeutung, indem diese Versuche den bisher so unfaß-

baren Kernkräften gelten. Ein praktischer Vorschlag zur Erzeugung polarisierter Teilchen stammt von CLAUSNITZER, FLEISCHMANN und SCHOPPER¹.

Am CERN wird von KELLER² nach diesem Prinzip eine Anordnung gebaut, die aber wesentlich größere polarisierte Teilchenströme zu liefern imstande sein soll. In unserem Institut beschäftigt sich seit über einem Jahr ebenfalls eine Arbeitsgruppe mit diesem Problem. Wir haben uns zunächst darauf beschränkt, partiell polarisierte Teilchenströme herzustellen, was den apparativen Aufwand erheblich vereinfacht und dennoch interessante Versuchsmöglichkeiten gibt.

Damit komme ich zum Schluß. Der Titel meines Vortrages hat vielleicht in manchen von Ihnen die Vorstellung eines programmatischen Referates erweckt. Dies war keineswegs meine Absicht. Sie bestand vielmehr darin, Überlegungen eines an diesen Forschungen Beteiligten kundzutun. Meine Ansicht kristallisiert sich in der Feststellung, daß zu allererst Forscherpersönlichkeiten die Möglichkeiten der wissenschaftlichen Arbeit bestimmen und erst in zweiter Linie die gewählte Organisation. Sie soll ihnen vernünftige Arbeitsmöglichkeiten geben. In der Erhaltung und Förderung eines ausgezeichneten Nachwuchses – wobei die Qualität nicht auf Kosten der Quantität leiden darf – und der wirkungsvollen Unterstützung der bereits ausgewiesenen Forscher liegen die Chancen unseres Kleinstaates. Daß wir dank eines guten Schulsystems immer wieder genügend vorzügliche Leute finden, die an der Forschung großes Interesse besitzen, gibt unserem Land eine gute Basis zur Behauptung eines hohen wissenschaftlichen Niveaus. Dabei dürfen wir aber nicht die Lehrtätigkeit an den Universitäten und den Hochschulen vernachlässigen und sie lediglich als Störung für den Forschungsbetrieb auffassen. In einer Universität gehören Forschung und Lehre untrennbar zusammen, sich gegenseitig ergänzend und befruchtend.

¹ A. CLAUSNITZER, R. FLEISCHMANN und H. SCHOPPER, Z. f. Physik Bd. 144, S. 336, 1956.

² R. KELLER, CERN-Bericht 57-30.

Le «pourquoi» des satellites artificiels

Par

D^r P. MULLER, observatoire de Meudon

Il y a bien longtemps que l'homme rêve de quitter le sol du globe terrestre et de circuler dans l'espace. La conquête de l'air a pu nourrir pendant quelques dizaines d'années cette soif d'évasion ; mais les voyages aériens sont devenus chose banale et c'est maintenant bien au-delà que se portent les regards. Depuis deux ans en fait, nous assistons aux véritables débuts de la conquête de l'espace extérieur (ne nous hâtons pas trop d'employer les adjectifs «interplanétaire» et surtout «intersidéral»... ce sera pour plus tard).

Chose curieuse, et que nous nous permettrons de faire remarquer avant d'entrer dans le vif du sujet, pas un seul parmi les précurseurs, du plus sérieux au plus imaginaire, ne paraît avoir songé aux satellites artificiels. La seule façon de partir semblait être la ligne droite vers la Lune, bientôt vers les autres mondes. Or que voyons-nous ? Non seulement les satellites s'imposent de plus en plus comme un banc d'essai irremplaçable sur la voie des futurs voyages, mais ils sont assurés de subsister comme une fin en soi tant ils se sont révélés riches de possibilités. C'est justement notre propos de le montrer ici.

Les satellites ont été lancés dans le programme de l'Année géophysique internationale de 1957/58. C'est en 1954 seulement que pour la première fois des congrès scientifiques internationaux ont préconisé cette entreprise dont la possibilité commençait à peine à apparaître. Les États-Unis en 1955, l'URSS en 1956 se déclarèrent prêts à étudier et à tenter l'expérience. On sait que les lancements ont commencé par deux Sputniks en 1957 ; en 1958 ont été réussis un troisième Sputnik et cinq satellites américains, en 1959 encore six satellites américains de divers types. De tous ces satellites huit circulent toujours, dont quatre certainement pour de longues années.

Quels sont les programmes confiés à tous ces satellites ?

Les fonctions que peuvent remplir à notre bénéfice ces nouveaux auxiliaires de la recherche et de certaines techniques plus directement utiles sont de trois ordres.

1. Par leur seul mouvement, c'est-à-dire en particulier sans qu'ils aient besoin d'emporter le moindre équipement ni un émetteur de radio, les satellites nous apportent déjà des informations nouvelles ; il s'agit d'une part de la forme du globe terrestre, d'autre part de la densité de la très haute atmosphère.

On démontre en effet que l'aplatissement polaire de la Terre introduit dans le mouvement du satellite des perturbations importantes. Cette orbite, si la Terre était sphérique, serait une ellipse képlérienne, c'est-à-dire décrite dans un plan passant par le centre du globe et selon la loi des aires. L'existence d'un aplatissement a sur cette trajectoire simple deux effets essentiels : le premier est de faire tourner le plan de l'orbite autour de la ligne des pôles dans le sens contraire du mouvement du satellite lui-même (comme tous vont de l'ouest vers l'est cet effet qui est appelé par analogie une « précession » est une rotation vers l'ouest). La précession est de l'ordre de 3 à 4 degrés par jour ; quand le satellite par exemple revient traverser l'Equateur à un tour d'intervalle, cela représente un décalage de 30 kilomètres (pour un satellite faisant une quinzaine de révolutions par jour). C'est donc un effet relativement énorme, facile non seulement à mettre en évidence, mais encore à mesurer avec précision. Le second effet est une rotation de l'ellipse tout entière dans son propre plan ; il est moins accessible à la détermination précise et nous n'y insisterons pas.

Avec la précession des orbites des premiers satellites, on a très rapidement corrigé la valeur jusque-là admise de l'aplatissement terrestre, et qui résultait de longues et délicates opérations géodésiques. Au lieu de $\frac{1}{297}$, on a trouvé la fraction $\frac{1}{298.3}$ et cette valeur ne fait que se confirmer et se préciser avec l'accumulation des révolutions accomplies.

D'autre part, on détermine la densité de l'atmosphère au moyen du ralentissement qu'elle imprime au mouvement du satellite. La résistance du milieu se fait sentir surtout là où il est le plus dense, c'est-à-dire au point le plus bas de l'orbite que l'on appelle son périégée. Comme l'orbite devient de plus en plus petite, la période de révolution diminue et la vitesse moyenne sur l'orbite augmente ; ce n'est donc pas par goût du paradoxe que l'on parle d'une accélération du mouvement alors que l'origine en est un freinage. L'étude de cette accélération fournit pour chaque satellite la densité du milieu à l'altitude de son périégée ; chacun renseigne donc sur une altitude déterminée. Heureusement, avec le nombre de satellites déjà lancés on a une certaine variété dans les périégées et l'on a pu dresser le tableau des densités entre 200 et 650 kilomètres. Elles sont sensiblement plus fortes qu'on ne le prévoyait d'après les résultats obtenus aux altitudes inférieures, notamment au moyen de ballons-sondes et de fusées.

Ajoutons que l'observation plus précise et plus suivie des mouvements des satellites doit permettre de raffiner encore ces deux sortes de résultats. Touchant la forme du globe, on espère d'une part éclaircir la question d'un aplatissement équatorial très faible ($\frac{1}{20\,000}$ ou $\frac{1}{30\,000}$) soupçonné d'après des mesures géodésiques, et d'autre part déceler les inégalités, au moins les plus importantes, dans la répartition des masses internes de la Terre. En ce qui concerne la densité de la haute atmosphère, la poursuite des observations permet de suivre ses variations par exemple dans le temps et avec la latitude. Des oscillations très nettes liées à l'activité solaire ont déjà été constatées dans ces densités.

2. Passons maintenant à ce qui devient possible quand le satellite emporte un émetteur de signaux radioélectriques, et tout d'abord sur une fréquence stable; nous entendons par là qu'elle n'est pas soumise à des variations voulues. A vrai dire, ces émissions étendent déjà de façon considérable l'étude des seuls mouvements dont nous venons de parler; en effet, s'il est vrai que les observations optiques sont les plus précises, elles sont toutefois soumises à des servitudes graves: il faut que l'objet soit éclairé par le Soleil, qu'il fasse suffisamment nuit au lieu d'observation, qu'il n'y ait pas de nuages, enfin et surtout que l'objet soit de dimensions telles qu'il réfléchisse une portion de lumière solaire qui le rende visible soit à l'œil nu, soit au moins dans un instrument à grand champ pour le trouver dans le ciel. Au contraire l'écoute radio, toujours possible (de nuit comme de jour, par temps clair ou non) rend aisée la poursuite presque continue de l'objet, avec une localisation moins précise mais meilleure qu'on ne pourrait penser, notamment par la mesure des vitesses selon le principe de Doppler-Fizeau. Les signaux radio ont donc une première utilité, celle de fournir plus rapidement et dans tous les cas, même pour les satellites les plus petits, des orbites et des valeurs de l'accélération.

Mais la réception des signaux comporte aussi une étude qualitative qui porte sur leur intensité, leurs évanouissements ou renforcements, etc.; et nous avons là un excellent moyen d'investigation de l'ionosphère. On sait que la Terre est entourée à une altitude de 100 à 150 kilomètres d'une couche particulièrement riche en particules ionisées qui joue le rôle de réflecteur à l'égard des ondes radioélectriques, et qui leur permet de faire parfois le tour complet du globe. On étudiait les propriétés de l'ionosphère, jusqu'à présent, au moyen de sondages qui consistaient à émettre des signaux en une station et à les enregistrer en plusieurs autres. Les satellites circulent sensiblement plus haut que l'ionosphère; ils ont donc permis, pour la première fois, de recevoir à terre, et avec une grande continuité, des signaux qui l'ont traversée. On peut donc étudier l'ionosphère dans toute son épaisseur et par réfraction, et non plus par réflexion sur sa partie basse. Ces recherches présentent un intérêt immédiat pour les télécommunications terrestres.

3. Enfin la technique la plus féconde, et qui à elle seule eût justifié l'envoi des satellites, est la télémessure. Le système n'est pas absolument nouveau; il a servi déjà pour exploiter les vols de fusées. S'il est possible en effet de retrouver la plupart des instruments emportés par des ballons-sondes et d'étudier après coup les enregistrements réalisés au cours du vol; si cela réussit encore, bien que plus rarement, dans le cas des fusées qui ne montent pas trop haut, il faut y renoncer à peu près entièrement quand on envoie des engins à 200, 400 kilomètres et davantage. Enfin les instruments placés à bord des satellites sont pratiquement sacrifiés, et surtout on ne peut pas attendre une problématique récupération pour connaître les observations faites pendant des mois et des années à bord de ces stations ambulantes.

On sait à présent traduire les mesures, continues ou discontinues (nous pensons ici aux numérations comme celles des particules cosmiques par les compteurs de Geiger, ou celles des impacts de micrométéorites) en glissements ou en sauts de fréquence à l'intérieur d'un canal étroitement limité. Chaque émetteur travaille ainsi sur un certain nombre de canaux (10 à 20 couramment) et dans chacun il transmet les indications d'un appareil déterminé. Les différents appareils sont mis en circuit à tour de rôle par un distributeur, de façon à faire passer en quelques minutes le cycle complet qui résume tout le laboratoire volant. On pousse le raffinement jusqu'à installer à bord un magnétophone en miniature qui est capable de conserver les mesures recueillies pendant la majeure partie du tour accompli autour du globe, et de les restituer en accéléré sur un signal envoyé d'une station au sol. Cet artifice, qui fonctionne de façon parfaite, permet de recevoir tout ce qui a été enregistré pendant que le satellite était hors de portée; cela peut favoriser aussi un certain secret car seule la station réceptrice peut déclencher et interpréter l'émission en accéléré.

Une expérience plus compliquée encore dans cet ordre d'idées a été faite avec le gros satellite SCORE de 4 tonnes (lancé le 18 décembre 1958 et retombé cinq semaines plus tard). On y avait placé un équipement complet qui a pu remplir les fonctions suivantes:

a) un message adressé par le président Eisenhower au monde était enregistré sur une bande magnétique; ce message a été diffusé par le satellite à chaque fois qu'on le lui a demandé par un signal d'interrogation envoyé de la Terre;

b) des messages ont été envoyés au satellite, enregistrés par lui à mesure de leur arrivée, et réemis par lui vers la Terre à la demande.

Pour alimenter les émetteurs, les batteries chimiques ordinaires ne sont pas très commodes: elles sont lourdes, et n'ont qu'une vie limitée. Aussi n'a-t-on pas tardé à munir les satellites d'éléments photosensibles qui régénèrent sans cesse une batterie; c'est ce que l'on appelle des piles solaires. Le premier ainsi armé fut le premier satellite américain, Vanguard I. L'Explorer VI, lancé le 7 août dernier et qui monte à plus de 40 000 km du sol à son apogée, porte sur 4 espèces d'ailes de moulin (d'où son nom de «Paddlewheel») au total 8000 de ces éléments. Le seul Sputnik encore existant, qui est le troisième, emporte lui aussi des piles solaires; il est assez remarquable de constater que ses batteries chimiques elles-mêmes fonctionnent toujours, 18 mois exactement après son lancement.

Cela dit sur les moyens de traduire les mesures dans les signaux, et d'assurer longue vie aux émetteurs, quelles sont les observations ainsi possibles?

La liste en est si variée qu'elle décourage presque l'énumération. Nous allons pourtant essayer d'en donner une idée.

Il y a d'abord les paramètres classiques du milieu: températures, pressions, densités, composition (notamment proportion en ions positifs). Ensuite viennent divers phénomènes dont les causes sont lointaines: champ magnétique terrestre, rayonnements de toute sorte. Parmi ceux-ci il y a d'abord tout ce qui nous arrive du Soleil, et dont le plus intéressant

est précisément ce qui ne parvient pas au sol à cause de l'atmosphère : rayonnement X ou ultra-violet, rayonnement corpusculaire qui compose la majeure partie de ce que l'on désigne sous le nom général de rayons cosmiques, et qui est à l'origine de la formation des aurores polaires. Les satellites permettent d'étudier, dans le rayonnement cosmique, l'origine de certains d'entre ses composants et l'on s'intéresse tout particulièrement à ce qui ne vient pas du Soleil, mais de plus loin. Citons aussi les numérations des micrométéorites, dont la fréquence pourrait être un sujet d'appréhension pour les futurs astronautes.

Mais le satellite n'étudie pas seulement le milieu qui l'entoure et les phénomènes dont il est le siège. Il s'analyse également lui-même ; nous entendons par là que nous pouvons connaître les conditions qui règnent à sa surface et à son intérieur. En particulier, il était important pour l'avenir de savoir quelle température s'établirait à bord sous l'effet combiné de l'échauffement par la lumière solaire (coupé par les passages dans l'ombre de la Terre à chaque tour), de la déperdition de chaleur dans le vide, de l'absorption par les parois de l'engin. Dans le résultat intervient donc, bien plus que le milieu, la forme, les matériaux, le mode de cloisonnement et le revêtement extérieur du satellite.

Dans le même ordre d'idées on ne peut manquer de citer l'expérience biologique à laquelle reste attaché le nom de la chienne Laïka, qui a fait couler beaucoup d'encre et quelques larmes de compassion, voire de rage. Du point de vue scientifique, il y eut là un essai d'ailleurs resté unique, et également capital dans la préparation des futurs voyages vers l'extérieur.

Enfin le satellite, après le milieu qui l'entoure et ses propres conditions peut étudier de loin ce qu'il voit ; cela aussi bien vers la Terre qu'au contraire vers l'Univers. Tourné vers le bas, le satellite est un poste d'observation remarquable à bien des égards, donnant par exemple des vues d'ensemble sur les systèmes nuageux et leurs évolutions. Il serait vain de nier que d'autres usages moins pacifiques sont recherchés dans cette voie ; contentons-nous de la maigre consolation qu'ils ne sont pas les seuls. Mais le satellite, tout comme l'homme son créateur, peut élever son regard automatique et indifférent dans la direction de l'Univers et observer des astres dans des conditions qui nous feront soupirer d'envie. Pour lui le ciel est entièrement noir malgré le Soleil brillant de tous ses feux ; il ne connaît ni les nuages, ni l'air agité et qui absorbe pour nous une grande partie de la lumière des étoiles. Certes, des difficultés redoutables restent à surmonter : il faut non seulement trouver le moyen de maintenir un télescope dirigé vers un astre déterminé, mais encore celui de transmettre à terre des images qui ne perdent par cet intermédiaire aucune de leurs qualités. Nous ne sommes encore qu'aux premiers balbutiements dans cette voie ; l'Explorer VI est chargé de vous donner des images très rudimentaires, réduites à un canevas de points sur un certain nombre de lignes, de ce qu'il voit en dessous de lui ; mais nous verrons beaucoup mieux avant longtemps, en attendant que l'homme aille lui-même observer les astres soit depuis une station en mouvement, soit depuis la fameuse base lunaire qu'on nous décrit avec complaisance depuis quelques années

déjà. Dans quelques dizaines d'années peut-être, nos observatoires terrestres ne seront plus que des musées, tout au moins dans certaines de leurs parties, et l'astronome troquera la blouse de laboratoire pour la combinaison spatiale. Si la recherche doit en profiter, c'est sans amertume aucune que nous acceptons l'augure. Les astronomes sont, parmi les hommes de science, ceux qui ont à leur actif le plus d'expéditions et de séjours en des lieux plus ou moins confortables dans l'intérêt de leurs travaux; l'espace ne leur fait pas peur.

La Science à la recherche d'une conscience

Par

DOMINIQUE RIVIER (Lausanne)

«*Hypocrites, vous savez reconnaître
l'aspect du ciel et de la terre !
comment ne reconnaissez-vous pas
ce temps-ci ?*» (Luc, 12, 56)

I. Le drame de la science moderne

Le 22 juin 1633, alors qu'il était âgé de 70 ans, GALILÉE, après avoir abjuré l'hérésie de la théorie héliocentrique du système solaire, était conduit par les autorités de l'Eglise dans une demi-captivité qu'il ne devait plus quitter jusqu'à sa mort. Depuis lors, notre civilisation moderne pense avoir fait des progrès : elle se targue bien souvent d'avoir donné aux savants la plus complète liberté dans leur recherche. Bien plus, elle considère la garantie de cette liberté comme une de ses plus nobles conquêtes sur l'obscurantisme du Moyen Age. Aux Etats-Unis notamment, les livres d'histoire soulignent tout ce que la fin tragique de GALILÉE a de révoltant pour les Américains, eux qui ont inscrit la garantie de la liberté de pensée jusque dans leur Constitution.

Et pourtant, en mai 1954, après des années d'enquêtes, le gouvernement des Etats-Unis jetait le discrédit sur ROBERT OPPENHEIMER, le père de la bombe atomique, en le destituant de manière infamante de ses fonctions à la Commission de l'énergie atomique. Principal motif invoqué : le refus de collaborer à la construction de la bombe à hydrogène !

Si j'ai choisi le cas d'OPPENHEIMER plutôt que celui de LÉOPOLD INFELD, de LYSSENKO ou de JAMES FRANCK, c'est pour montrer bien que les conflits opposant les savants à leur gouvernement ne sont pas des accidents liés à tel ou tel régime politique, mais qu'ils constituent un phénomène général, caractéristique de cette seconde moitié du XX^e siècle.

Le plus révélateur de ces conflits nous est certainement offert par le drame qui, de 1939 à nos jours, s'est joué et se joue entre les gouvernements d'une part et les savants atomistes d'autre part.

On sait qu'à la fin de l'année 1938, à la suite de travaux menés en Italie, en Allemagne, en France et en Angleterre, les physiciens allemands HAHN et STRASSMANN découvraient le phénomène de la fission de l'uranium. La nouvelle de cette découverte n'était pas encore répandue qu'aucun doute ne subsistait pour les quelque 200 spécialistes capables d'en apprécier alors l'importance : une source nouvelle d'énergie était

mise à la disposition de l'homme, et cette énergie pourrait être utilisée tant pour des bombes d'une puissance formidable que pour des centrales dispensatrices d'énergies incommensurables.

Aussi dès le début de 1939, la première réaction des physiciens atomistes fut-elle de s'entendre pour tenir cachées à leur gouvernement les conséquences de cette terrifiante découverte. Malheureusement le monde était à ce moment divisé en deux camps : les savants atomistes d'Allemagne, notamment, se trouvaient cruellement atteints : un rideau de fer séparait ceux qui avaient dû ou qui avaient voulu fuir le régime nazi, de ceux qui, sans soutenir forcément ce régime, n'avaient pu se résoudre à quitter leur patrie. C'est la raison pour laquelle il fut impossible en ces mois dramatiques de parvenir à une entente au sein de la grande famille des atomistes, malgré les efforts de l'Allemand HEISENBERG et l'Italien FERMI, tous deux en Amérique pendant l'été de 1939. Et la guerre commença, qui plongea les savants divisés dans la plus dure des perplexités : fallait-il informer les gouvernements de cette nouvelle puissance, qui assurerait au premier qui saurait l'exploiter militairement une arme si effrayante que la victoire finale ne saurait lui échapper ?

En Allemagne toute fois, le gouvernement fut immédiatement informé par une minorité de savants appartenant au parti nazi. Une commission fut créée, chargée d'étudier à la fois la construction d'une bombe et celle d'une centrale d'énergie. Mais fort heureusement sensible aux arguments de savants comme HEISENBERG et VON WEIZSÄCKER, qui présentèrent la bombe atomique comme irréalisable en temps utile, le gouvernement fut persuadé de renoncer à sa fabrication. Les nazis préférèrent consacrer leurs efforts à la construction d'un moteur atomique, confiants qu'ils étaient en l'efficacité de leurs armes conventionnelles pour remporter la victoire. Le danger d'une guerre atomique se trouvait donc écarté en Europe, d'autant plus que le gouvernement soviétique n'avait pas attaché beaucoup d'importance à la découverte de HAHN et de STRASSMANN.

C'est aux États-Unis qu'allait se jouer l'acte décisif du drame : là, des savants atomistes exilés d'Europe avaient rapidement noué avec leurs collègues américains d'étroits contacts au cours desquels ils n'avaient pas manqué de leur faire partager l'angoisse qui les rongeaient : « Les nazis, pensaient-ils, vont construire la bombe atomique et gagneront la guerre à coup sûr. » En effet, conséquence de la séparation que la bêtise politique de ce temps avait établie entre les savants, les émigrés d'Amérique ne surent jamais que beaucoup plus tard, après la capitulation du troisième Reich le 7 mai 1945, la détermination de leurs collègues allemands de ne pas tenter la construction d'une bombe atomique. Cela malgré les efforts de HEISENBERG qui, jusqu'en 1941, s'efforça d'informer son maître NIELS BOHR de ce qui se passait en Allemagne. Aussi, dès l'été 1939, les atomistes américains n'eurent-ils de repos qu'après avoir persuadé le gouvernement des États-Unis d'entreprendre la construction et d'une pile et d'une bombe atomiques. Cela ne fut pas chose facile : il fallut d'abord patienter de nombreux mois et, en désespoir de cause, recourir à EINSTEIN lui-même pour alarmer le président des États-Unis ; puis

engager une série de luttes opiniâtres contre l'inertie des autorités afin d'obtenir pas moins de deux ans plus tard la mise en place du fameux projet Manhattan. Alors, enfin, les événements se précipitèrent :

Le 2 décembre 1942, le premier réacteur atomique démarrait à Chicago; le 16 juillet 1945, à cinq heures trente du matin, le général GROVES, chef militaire en charge de la bombe, déclenchait la première explosion atomique dans un désert près de Los Alamos, bien nommé *Jornada del Muerto* (le pèlerinage de la mort).

C'est alors que la plupart des atomistes américains retombèrent dans une angoisse plus profonde encore que la première. Remis de la griserie du succès, ils comprirent que la raison n'existait plus, qui les avait poussés à construire la bombe: en juillet 1945, l'Allemagne avait capitulé depuis deux mois; plus de risque de voir des bombes atomiques larguées par les nazis! Malheureusement, il était trop tard: la bombe atomique n'était plus entre les mains des savants, mais dans celles des généraux et des politiques des Etats-Unis.

Or, ces derniers faisaient toujours la guerre au Japon, lequel, sans illusion sur sa très prochaine défaite, cherchait à négocier une paix qui — les historiens semblent d'accord sur ce point — aurait pu intervenir à la fin de juillet 1945 déjà. Malheureusement c'était l'époque barbare où la victoire ne pouvait être remportée que par capitulation sans conditions. D'autre part, le gouvernement américain, en possession de l'arme nouvelle, ne pouvait pas manquer cette occasion de finir la guerre en éblouissant le monde et surtout l'Union soviétique: la guerre froide avait commencé que l'autre n'était pas même terminée! Effrayés, quelques savants atomistes conduits par JAMES FRANCK, tentèrent vainement d'empêcher l'emploi de la bombe contre le Japon par l'envoi d'un memorandum (aujourd'hui célèbre sous le nom de Rapport FRANCK) adressé au secrétaire d'Etat à la guerre. Rien n'y fit. En fait, ce haut fonctionnaire soumit bien le rapport aux quatre savants de sa commission scientifique spéciale. Mais, mal renseignés, partagés, pris de court, FERMI, COMPTON, OPPENHEIMER et LAWRENCE ne purent ou ne surent s'opposer à l'emploi de la bombe...

La péripétie, le monde entier en a sursauté: c'est l'explosion atomique sur Hiroshima le 6 août, et celle sur Nagasaki le 8 août 1945... La course aux armements nucléaires était engagée, qui devait conduire à la construction des superbombes tristement célèbres ainsi qu'au gigantesque enrégimentement pour la guerre de multitudes de savants de toutes les nations... Brutalement, l'âge d'or de la science prenait fin dans le fracas d'explosions cataclysmiques exterminant par dizaine de milliers hommes, femmes et enfants, lui dont les premiers instants avaient été bercés par les paisibles échos des hymnes grégoriens dans la cathédrale de Pise, un jour que le jeune GALILÉE avait eu l'attention distraite par le balancement régulier de la suspension d'un lustre sacré.

Etait-ce bien la Science qui précipitait ainsi l'Humanité à la catastrophe? Cette Science qui, à peine un siècle auparavant, portée par le mythe du progrès qu'elle avait enfanté, voulait donner le paradis aux

hommes ? Leur apporterait-elle maintenant le feu de l'enfer ? Consternés par ce renversement dramatique, nombreux sont ceux qui de nos jours, voudraient savoir : est-il possible d'arrêter cette absurde course aux abîmes ? Un regard sur l'histoire de la Science et des savants devrait permettre de discerner les éléments d'une réponse. Efforçons-nous de les saisir.

II. Le développement de la Science et l'évolution de la situation du savant

Au sens où nous l'entendons aujourd'hui, la Science est née à la fin du XVI^e siècle, avec GALILÉE. Si brillantes, si vivantes, si riches en techniques qu'aient été les civilisations de l'ancienne Egypte, de la Chine des grands empereurs et du monde gréco-romain, elles ne virent que des embryons de connaissance scientifique. Diverses explications ont été fournies de ce qui peut paraître à ce jour un paradoxe. La plus satisfaisante me semble celle-ci : la méthode scientifique, faite d'observation scrupuleuse, de spéculation désintéressée et de soumission totale aux faits d'expérience, demande à celui qui veut l'appliquer efficacement certaine confiance fondamentale en la Nature, certains dons d'honnêteté, d'autocritique et d'humilité, qualités dont il n'est certes plus possible aujourd'hui d'exagérer la valeur morale, mais qui pouvaient naturellement surgir dans une société comme celle de la Renaissance, bien plus marquée par la foi chrétienne que la nôtre. L'histoire de GALILÉE dans la cathédrale de Pise, qui distrait son attention du service divin pour jeter les fondements de l'observation scientifique, revêt soudain, nouveau mythe de PROMÉTHÉE, une signification profonde : la Science, prise absolument, est une manière de déviation ou d'hérésie du Christianisme ! En fait, les épigones les plus marquants de GALILÉE, je pense à DESCARTES, PASCAL, NEWTON et LEIBNIZ, furent tous comme lui des chrétiens convaincus ! C'est d'ailleurs sous l'impulsion donnée par ces grands maîtres que la Science ne tarda pas à quitter l'enfance pour l'âge de raison. Prenant progressivement conscience de ses moyens, elle passa durant le XIX^e siècle par la crise d'indépendance propre à l'adolescence : c'est ouvertement qu'elle se révolta contre le Christianisme qui lui avait donné naissance, pour tenter même de prendre sa place : Ne voyait-on pas alors de grands esprits comme OSTWALD et BOLTZMANN discuter gravement de *l'équation du bonheur* et de la manière dont énergies potentielle et cinétique devaient y figurer ! Pour beaucoup d'hommes de la fin du siècle passé et du début du nôtre, la science avait remplacé la religion traditionnelle. Aux vérités d'Évangile qu'il faut accepter comme un don de Dieu, ces hommes avaient préféré les certitudes de la Science que leur raison arrachait à la Nature !

Le courage et la noblesse de cette attitude – il faut du courage pour aller contre la tradition et de la noblesse pour renoncer à une certaine paix intérieure – ne sauraient cacher l'orgueil intellectuel qui lui sert de fondement. Car le sentiment de construire soi-même ses certitudes satis-

fait bien l'envie de domination intellectuelle qui hante la raison comme le cœur de l'homme.

Il est vrai que maintes fois le savant matérialiste croit en une objectivité absolue de la Science, selon laquelle les faits et les lois qui la constituent ne dépendent pas de lui, mais coïncident avec ce qu'il appelle la *réalité objective*, sans lien avec l'observateur. Or, les derniers développements de la Science, et notamment de la Physique, ont montré que l'observateur ne se contente pas seulement de *découvrir* la réalité, mais qu'il la *construit* aussi. Et toute tentative *scientifique* visant à prouver l'objectivité absolue de la Science ne pourrait que tourner dans un cercle vicieux : pour être recevable, la preuve elle-même devrait avoir ce caractère d'objectivité absolue qu'elle veut démontrer ! Au reste, peu importe à l'homme qui a mis sa confiance en la Science : il s'agit pour lui d'un acte de foi aussi valable que celui du chrétien, encore qu'il soit souvent inconscient ou inavoué...

C'est ainsi qu'il y a une cinquantaine d'années, la Science apparaissait à beaucoup comme la seule religion digne d'être reçue par un homme raisonnable. Aujourd'hui, avec le retard d'une génération, l'homme de la rue a suivi, complètement ébloui par la série impressionnante des succès remportés par la Science. Considérons plutôt : Les grandes réalisations de la technique ont permis à l'homme de se libérer progressivement d'une multitude de contraintes, dont la moindre n'est certes pas de travailler à la sueur de son front pour sa subsistance ! La semaine des 40 heures est devenue réalité dans tout un groupe de pays matériellement développés : la vie confortable n'y est plus l'apanage d'une minorité oisive, mais devient la part des travailleurs en très grand nombre. L'espace et le temps sont conquis : à peine un jour pour faire le tour du monde et déjà la Lune fait figure de terre promise aux audacieux : à New York, on loue ses places pour le premier voyage et la spéculation sur les terrains de notre satellite a commencé ! La domestication de l'énergie nucléaire ouvre des perspectives immenses à l'aménagement des pays sous-développés ; jointe à l'exploitation aujourd'hui amorcée de l'énergie solaire, elle nous garantit l'abondance matérielle pour des temps illimités. La médecine, bien qu'impuissante encore à prolonger la durée maximum de la vie humaine, en a doublé la valeur moyenne en moins d'un siècle, tandis que par l'opération et le médicament, elle a considérablement réduit la souffrance du corps. D'un point de vue plus élevé enfin, la Science a supprimé — du moins beaucoup le pensent — peur et superstition : en apportant les descriptions naturelles de phénomènes autrefois terrifiants de puissance et de mystère, elle les a du même coup dépouillés de leur emprise sur l'imagination.

Ainsi donc, malgré la psychose atomique, l'homme de la rue est, aujourd'hui encore, prêt à s'associer au salut que dans la préface de son beau livre sur les atomes, JEAN PERRIN lançait en 1935 à « l'émouvante et prodigieuse épopée des hommes, créatures éphémères auxquelles le destin vaincu semble enfin permettre un espoir sans limite ».

Or, et c'est ici que commence le drame que nous vivons, ce bel optimisme de l'homme de la rue, encore entretenu par les magazines à grand tirage, ne correspond plus du tout aux idées de la plupart des savants d'aujourd'hui, même des plus matérialistes d'entre eux : écoutons le biologiste JEAN ROSTAND, dans un de ses récents ouvrages « *Ce que je crois* », livrer cette confession : « Que l'insatisfaction de l'esprit soit notre lot, qu'il faille nous résigner à vivre et à mourir dans l'anxiété et dans le noir, telle est une de mes certitudes. » Et voici, tiré de « *La Profession de foi d'un homme libre* » du mathématicien philosophe BERTRAND RUSSEL, cet aveu aux résonances singulièrement matérialistes : « Que l'homme soit le résultat de causes ignorant totalement ce qu'elles allaient produire, que l'origine de l'homme, son développement, ses espoirs et ses craintes, ses affections et ses croyances ne soient que le résultat d'arrangements d'atomes dus au hasard ; que ni la passion, ni l'héroïsme, ni la puissance de la pensée ni celle des sentiments puissent prolonger quelque chose de la vie au-delà du tombeau ; que toutes les peines des hommes à travers les âges, que tous les dévouements, toutes les inspirations, toutes les plus brillantes acquisitions du génie de l'homme ; que tout cela soit voué à la disparition totale dans la fin catastrophique du système solaire, et que le vaste monument des accomplissements de la race humaine s'évanouisse finalement dans les ruines de l'univers ! Ce sont là des affirmations que l'on discute peut-être encore, c'est vrai, mais elles sont tout de même si certaines qu'une philosophie qui les refuserait ne pourrait espérer se voir prise au sérieux. Car c'est seulement sur ces sombres perspectives, c'est seulement sur les solides fondements du stoïque désespoir qu'elles engendrent, que nous pouvons sans fraude bâtir un refuge à notre âme ! »

Il paraît hautement significatif que ces savants, qui ont délibérément refusé une aide quelconque à la religion chrétienne, et qui ont enseigné à leurs disciples ce refus comme étant la seule attitude possible, il paraît hautement significatif que ces savants soient acculés malgré eux à un pessimisme aussi radical. Car ce pessimisme est une preuve tragique — comment le désespoir de ces hommes ne nous toucherait-il pas ? — non seulement de l'impuissance de la Science à venir au secours de l'homme jusque dans le monde de sa conscience, mais aussi de l'isolement profond dans lequel se trouve à cause d'elle plongé le savant matérialiste : ne voit-on pas ce dernier voguer comme à la dérive au gré des modes et des variations de cette Science en laquelle il met toute sa confiance, parce que, ô paradoxe, il la croit seule capable de donner les fermes certitudes, celles de la Raison !

Heureusement, tous les savants d'aujourd'hui ne partagent pas le pessimisme du matérialiste. Néanmoins la plus grande partie d'entre eux souffrent, consciemment ou non, du même isolement : dans son activité professionnelle, le savant utilise toujours davantage le langage spécialisé de l'expert, inaccessible non seulement à sa famille et à ses amis, mais à la plupart de ses collègues ! Je ne vois pas, tout au long de l'histoire de l'humanité, plus frappant et plus fidèle exemple de Tour

de Babel qu'une assemblée d'experts scientifiques de spécialités différentes! Comme les bâtisseurs confondus par Yahvé, les savants commencèrent par croire à l'universalité de leur langue et comme les hommes du pays de Shinéar, ils voulurent et veulent encore s'en servir pour forcer le Ciel!

Pessimisme fondamental et isolement intellectuel: telle est la situation de la majorité des savants au moment de la grande révolution technique qu'ils ont provoquée et dont nous vivons les premiers instants. Faut-il s'étonner dès lors s'ils ne peuvent toujours assumer les responsabilités immenses que cette révolution fait fondre sur eux? Car c'est précisément l'activité scientifique du savant qui, par le pessimisme et l'isolement qu'elle entraîne pour lui, le rend progressivement incapable d'affronter les situations nouvelles dans lesquelles le développement de science et de la technique le place. A cet égard, une déclaration d'OPPENHEIMER est révélatrice. Questionné sur les sentiments qu'il avait éprouvés lors de la construction de la bombe atomique, il aurait dit à peu près ceci: «En face d'un projet qui laisse entrevoir quelque jouissance intellectuelle (*technically sweet*), le savant ne se domine pas: il s'en empare pour le réaliser. C'est seulement plus tard, dans l'euphorie du succès, que surgissent les problèmes posés par l'utilisation. Parmi tous ceux qui ont travaillé avec moi, je ne pense pas que personne se soit opposé à la fabrication de la bombe atomique. Quand elle a été là, seulement alors nous nous sommes mis à discuter de ce qu'on allait en faire.»

Ainsi, au moment précis où la Science arrive à l'âge des responsabilités majeures, elle a comme perdu sa conscience. Ce sont les raisons de cette situation paradoxale et nouvelle qu'il faut maintenant examiner de plus près.

III. La condition dramatique de la Science contemporaine: éclatement et abâtardissement

Quelqu'un s'est-il jamais demandé ce que serait l'effarement, l'effroi peut-être, d'un habitant d'une de nos bonnes cités suisses du XVIII^e siècle s'il était soudain replongé dans sa ville, mais de nos jours et à l'heure où la circulation est à sa pointe? Il y a certes dix à parier contre un que ce fidèle confédéré des XIII Cantons ne retrouverait pas grand-chose, peut-être pas le chemin de son église, ni même celui de l'auberge communale! Eh bien, la surprise et le dépaysement d'un ISAAC NEWTON ou d'un ANDRÉ-MARIE AMPÈRE ne seraient pas moindres s'ils étaient soudainement conduits dans un laboratoire de physique moderne, qu'il s'agisse d'un centre de recherches nucléaires comme le CERN à Genève ou d'un simple laboratoire universitaire décentement équipé.

La Science a subi depuis un siècle une série de transformations si profondes qu'elle en est devenue méconnaissable. Au savant, au chercheur isolé dans le silence du cabinet de travail, ont succédé d'une part un administrateur comparable au directeur d'usine, et d'autre part tout

un groupe de chercheurs penchés sur leurs problèmes. De leur collaboration étroite dépend en premier lieu le succès de la recherche scientifique. On a dit de RUTHERFORD, le briseur d'atome du début de ce siècle, qu'il avait été le dernier physicien capable de contrôler personnellement, jusque dans le moindre détail, l'ensemble de tous les appareils nécessaires à la réalisation d'une recherche. De nos jours, entre celui qui a conçu l'expérience et celui qui la vérifie au laboratoire, se trouve le plus souvent toute une chaîne de machines et de cerveaux, vifs ou électroniques, en lesquels il faut bien savoir se confier!

A cette extension souvent démesurée de l'instrumentation de la recherche correspond, cela va de soi, une augmentation parallèle des moyens financiers nécessaires à cette recherche. Prenons un exemple: il y a une cinquantaine d'années, un laboratoire scientifique universitaire de moyenne importance comptait à côté de son directeur un ou deux collaborateurs, et son budget annuel ne devait guère dépasser quelques milliers de francs. Aujourd'hui ce même laboratoire, dans des conditions normales, occupe une vingtaine de chercheurs et de techniciens; s'il veut valablement participer à la recherche, c'est avec des dépenses annuelles d'une centaine de mille francs qu'il doit compter!

Mais ce n'est pas tout: ces recherches, sans cesse croissantes en nombre et en ampleur, il faut les publier, car la publication est un devoir pour le chercheur: c'est par ce seul moyen qu'il peut soumettre résultats et opinions au contrôle nécessaire de ses confrères. Aussi voit-on de nos jours le nombre et le volume des revues scientifiques augmenter de façon prodigieuse. A la seule Conférence de Genève de l'an passé sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique, pas moins de 2000 mémoires ont été soumis dont la publication a demandé une trentaine de volumes de chacun 600 pages environ!

Pour caractériser exactement cet accroissement fantastique de la recherche scientifique à notre époque, les mathématiciens disent qu'il est *fonction exponentielle du temps*. Cette notion de croissance exponentielle est très ancienne: elle apparaît pour une des premières fois dans une vieille légende hindoue: celle du sage qui avait demandé pour paiement de ses peines autant de grains de blé qu'on en peut dénombrer avec un échiquier, à raison de 1 pour la première case, de 2 pour la seconde, 4 pour la 3^e et ainsi de suite jusqu'à la 64^e case, doublant chaque fois le nombre de grains en passant d'une case à la suivante: on sait la confusion du roi qui avait accepté le marché: quelques centaines de grains au bout de la première rangée; un fond de sac de blé au bout de la deuxième, un millier de sacs après la quatrième, ce sont finalement 3000 milliards de sacs de blé qu'il aurait dû donner à la dernière case: plus de 100 fois la dernière récolte annuelle mondiale de blé, et probablement plus de céréales qu'on en a jamais récolté sur la terre depuis Adam et Eve!

Malgré l'enthousiasme qu'il suscite chez beaucoup, l'accroissement de la recherche scientifique a quelque chose d'alarmant, non pas tellement par le fardeau toujours plus lourd qu'il constitue pour la société —

(celle-ci, on nous l'affirme, en recevra la contrepartie dans un niveau de vie matérielle toujours plus élevé) — mais surtout parce qu'il lui correspond, à cet accroissement, une décroissance simultanée de l'importance du savant, individu générateur d'idées nouvelles. Ecrasée déjà sous le poids des millions de francs engagés pour elle, la recherche scientifique ne commence-t-elle pas de s'abâtardir dans l'effort démesuré et inévitablement dispersé des milliers de cerveaux qui se donnent à elle ? Ainsi, à son tour, la science fait l'expérience de qu'ORTEGA Y GASSET appelait «le poids du nombre». Certes, à la majorité de nos contemporains ce développement fabuleux apparaît comme une nécessité : seule l'existence de contrées sous-développées, étreintes par la faim, obligerait déjà des pays privilégiés comme le nôtre à mettre toujours davantage de savants, de techniciens et de machines à disposition de l'humanité. Mais il y a plus : un peu partout les besoins des peuples en énergie augmentent aussi de façon exponentielle par rapport au temps, et c'est de la même manière enfin que croît actuellement la population du globe, laquelle a doublé ce dernier siècle.

Une autre menace d'abâtardissement plane sur la recherche scientifique : elle provient, celle-là, de l'influence croissante prise par des organisations extra-scientifiques sur le développement même de la Science. Jusqu'au début du siècle, l'évolution de la recherche scientifique s'est vue principalement commandée par les seules découvertes des savants. Pratiquement ceux-ci ne subissaient aucune influence, sinon celles de leurs devanciers, de leurs confrères, ou de quelque mécène, *rara avis...*

De nos jours, la situation est bien différente, et cela a commencé avec les guerres mondiales. Jamais l'aviation et l'aérodynamique, jamais l'électromagnétisme et la technique du radar n'auraient connu de si rapides développements, si les Etats en guerre n'avaient puissamment stimulé savants, ingénieurs et techniciens. Et bien sûr, tout ce que l'on range aujourd'hui sous le nom d'*énergie atomique* doit sa fulgurante poussée à l'aide souvent démesurée que les gouvernements ont accordée et accordent encore aux recherches nucléaires. On voit ainsi de nos jours certains domaines de la Science jouissant de la faveur des gouvernements prendre une importance énorme aux dépens d'autres, simplement parce que des applications pacifiques ou militaires leur donnent la primauté. Ailleurs, au lieu de favoriser le développement de la Science, des Etats l'ont récemment entravé, soit par l'imposition du secret, soit, ce qui est pis encore, en supprimant les contacts entre chercheurs de pays ennemis ou d'obédiences politiques opposées. Cette nouvelle immixtion des gouvernements dans la vie des savants devient de nos jours inquiétante. Qui dira les obstacles et les délais ainsi apportés aux solutions des grands problèmes de notre temps ? On ne saurait ici souligner trop les conséquences incalculables de ce dirigisme à double action dans l'éthique même de la Science... Ne sont-elles pas déjà visibles, les perspectives de son asservissement progressif à la technique d'abord, à la politique ensuite ?

Quant aux conditions de travail du savant lui-même, elles ont subi une évolution parallèle à celle de la Science.

L'indépendance du chercheur est menacée de plusieurs points à la fois: de l'extérieur d'abord. Comme les gouvernements ont un besoin croissant de savants, ceux-ci sont peu à peu pris en charge par l'Etat: c'est notamment le cas en Russie soviétique et aux Etats-Unis. Et déjà, dans ces pays, le vieux dicton «qui paye commande» connaît des confirmations souvent dramatiques (le cas d'OPPENHEIMER n'est qu'un exemple). Admettons-nous qu'un homme de science se voie refuser la possibilité de poursuivre ses recherches en raison de la tournure prise par celles-là ou, ce qui serait pis, en raison de son attitude politique? Cela s'est déjà passé en Amérique et en Russie!

Toutefois, ce n'est peut-être pas dans ce fonctionnariat que réside la plus grande menace: nous devons faire confiance au réalisme des hommes d'Etat qui découvriront vite que l'indépendance totale du savant est une condition *sine qua non* de l'originalité et de l'efficacité de la recherche. Non, c'est de l'intérieur que l'indépendance du savant pourrait être le plus menacée: notre société est tellement imbue du dogme de la réussite que, de plus en plus, la valeur d'un savant se mesure à son «rendement», c'est-à-dire à sa productivité. Or les qualités d'un travail scientifique ne peuvent être valablement estimées que par une minorité d'experts, si bien que le seul critère à disposition de l'autorité non initiée reste celui de la quantité... le nombre de pages et la multiplicité des mémoires. De là cette pression non seulement matérielle mais aussi morale exercée par le bailleur de fonds sur le savant, pression qui entraîne parfois ce dernier à publier coûte que coûte. Je sais bien qu'il va de ce type de contrainte comme de certains médicaments: à l'occasion, une faible dose stimule; mais une action massive et continue empoisonne.

Or, si dans notre pays une pression de ce genre est encore assez rare pour rester salubre, ce n'est plus le cas dans les grands Etats qui mènent le monde: là des savants connaissent injustement les affres d'un «*struggle for life*» débilitant pour la recherche. Et pourtant, cette pression morale ne connaît pas de justification: pas plus dans le domaine des sciences que dans celui des arts, la quantité ne saurait remplacer la qualité! Qu'il est loin le temps d'un NEWTON, qui pouvait attendre 15 ans avant que de publier sa théorie de la gravitation universelle, jusqu'à ce que soit éliminée une divergence de 10% entre l'expérience et les prévisions de ses calculs! Cette atteinte à l'indépendance du savant ne constitue d'ailleurs qu'un des aspects de la détérioration de la situation privilégiée qu'il occupait jusqu'à nos jours. En effet, les répercussions parfois dramatiques de sa recherche sur la vie de ses semblables le placent pour la première fois en face de responsabilités morales qu'il n'avait pas prévues et que rien ne le préparait à assumer: la collaboration à la fabrication d'armes monstrueuses, la participation à l'étude de projets rémunérateurs mais lourds de menaces encore obscures pour l'humanité posent des problèmes de conscience nouveaux au savant. Lui qui naguère, dans sa profession, avait cru pouvoir fuir les responsabilités pratiques de la vie quotidienne pour les sereines beautés de la recherche pure, le voici brusquement rejeté dans une réalité combien plus sombre et plus

terrible, car elle lui demande maintenant des comptes! D'où cet insolite sentiment de culpabilité éprouvé de nos jours par beaucoup de savants, sentiment qui les pousse soit à l'abandon de leur métier, soit à une intervention directe dans la vie politique, dans l'espoir de remédier à une situation dont ils se découvrent trop tard les responsables. C'est ainsi que l'on voit manifestes et pétitions de savants se multiplier partout dans le monde et Sir BERTRAND RUSSEL lui-même abandonner momentanément son pessimisme olympien pour s'écrier: «Le devoir suprême et le plus urgent de tous ceux qui ont encore en eux quelques vestiges de pensée lucide et de sentiment d'humanité, c'est de consacrer toutes leurs forces à réveiller les peuples et leurs gouvernements!»

La recherche scientifique est un phénomène social dont l'échelle a brusquement changé. Or si, comme l'affirmait CHARLES-EUGÈNE GUYE, c'est l'échelle qui crée le phénomène, il n'est pas surprenant que la Science et les savants d'aujourd'hui soient dans une situation critique: sous le poids de la politique et du nombre, la science se trouve menacée d'éclatement et d'abâtardissement. Guetté par le fonctionnariat, inhibé de complexes nouveaux, le savant se sent sollicité à désertier sa vocation. Y a-t-il un remède à cette menaçante confusion?

IV. Une issue possible: le renouvellement de la vocation du savant par la foi en Christ

Quand en 1946, peu avant sa mort, le romancier HERBERT GEORGE WELLS assista à l'effondrement de sa foi dans le progrès scientifique, il annonça que l'homme était parvenu aux termes de ses possibilités et qu'il était fatalement destiné à une chute prochaine. Nombreux sont ceux qui, parmi les savants, pensent de même et n'osent le dire tout haut.

Cette conclusion désabusée n'est-elle pas la suite logique des déclarations pessimistes de JEAN ROSTAND et de BERTRAND RUSSEL que je rappelais au début de cet exposé? Avec ceci de nouveau qu'il ne s'agit plus maintenant de considérations désabusées sur la fin de toutes choses, mais de prophéties très précises sur l'avenir immédiat de notre société.

Il y a dans cet aveu d'impuissance et de désespoir, commun à de nombreux savants matérialistes et à beaucoup d'hommes de ce siècle, la sinistre résonance du «Dieu est mort» des existentialistes. Seulement, c'est leur dieu qui est mort: le dieu de la Science, ce mythe du progrès, qui s'est comme désintégré dans l'explosion de la bombe atomique! Et cette désespérance n'est pas sans fondements... Le haut degré d'efficacité technique et administratif de la civilisation occidentale qui permet les entreprises à long terme aboutissant à l'amélioration continue des conditions de vie matérielle, ce haut degré d'efficacité n'est possible que dans la stabilité relative dont jouit notre monde. Si celle-là est menacée par la perspective de destruction massive de régions entières, par l'asservissement total de peuples condamnés, c'en sera fait de l'essor économique de notre civilisation. L'aspiration collective de la société occidentale à construire «un monde meilleur» pour les générations futures,

aspiration noble s'il en est et qui fut pour beaucoup dans le développement matériel de notre civilisation, cette aspiration a reçu un coup mortel avec l'effondrement de nos illusions sur le progrès. Et quand l'espérance cède la place au désespoir, le seul parti qui demeure pour la plupart, c'est l'inconsciente imprévoyance d'un activisme forcené, lequel fait au moins écran à l'angoissant avenir : conférences, congrès, symposiums ; meetings, comités, commissions ; assemblées, forums, réunions, conseils... Combien de nos contemporains cèdent-ils déjà à cette subtile tentation de la fatigue et de la facilité ?

Quoi qu'il en soit, ce pessimisme ne saurait apporter de solution acceptable au problème qui nous préoccupe : il s'agit d'une démission pure et simple de la responsabilité d'homme, démission qui conduirait tout droit à la décadence, précisément à cette chute prétendue fatale prophétisée par WELLS.

Heureusement, il existe une minorité de savants qui ont adopté une autre attitude, fermement opposée à ce pessimisme. Il s'agit pour la plupart d'atomistes qui ont pris conscience d'une façon très saine de leurs responsabilités.

Car il y a des savants qui sont des hommes comme les autres ! L'idée parfois plaisamment répandue qui les présenterait tous (et notamment les savants atomistes) comme des irresponsables, politiquement inconscients, ne correspond pas à la réalité. Il y a parmi ces derniers — autant et peut-être plus que dans n'importe quel autre groupe — des hommes qui découvrent, d'emblée ou graduellement, les nouveaux problèmes politiques et moraux posés par l'avènement de l'âge atomique. Preuve en est que ces savants ont édité en Amérique un journal, *The Bulletin of Atomic Scientists*, où sont posés et débattus précisément ces problèmes de responsabilités politiques et morales du chercheur, et souvent avec autant de pénétration que de réalisme. Et le monde sait qu'en Allemagne occidentale, des savants atomistes ont récemment mené une campagne retentissante contre la politique du gouvernement de Bonn en matière d'armement atomique. Il faut le reconnaître : la plus grande partie des actions efficaces entreprises un peu partout dans le monde pour la suppression des essais d'armes nucléaires est le fait d'hommes de science. Et nous voyons même des groupes agissants de savants faire tous leurs efforts dans l'espoir de sauver une fois pour toutes le monde d'une guerre nucléaire générale. C'est, chez ces hommes de science, à la naissance d'une *conscience collective* que l'on assiste, et ce phénomène est aussi surprenant que la libération de l'énergie du noyau de l'atome !

Il faudrait s'en réjouir pleinement s'il n'existait, sous-jacent à cette attitude, un optimisme foncier qui risque bien de mener ces savants, et le monde s'il les écoute, vers de nouvelles désillusions. Car, en dernière analyse, que proposent ces savants sinon leurs remèdes *scientifiques* aux maux dont ils sont partiellement responsables ? N'ont-ils pas encore compris que la Science seule ne peut pas faire sortir le monde de la situation tragique où il se trouve aujourd'hui ? Pensent-ils vraiment, ces

savants, en jouant les politiques et les hommes d'Etat, faire mieux que ces hommes d'Etat et que ces politiques ?

Le simple bon sens permet d'en douter ! En fait, nos optimistes retombent sans s'en rendre compte dans l'erreur fondamentale de leurs devanciers du XIX^e siècle, qui faisaient de la Science la panacée par excellence !

Or, et c'est ce qu'ont bien discerné les pessimistes comme WELLS, l'éclatement et l'abâtardissement de la science sont des dangers qui ne la menacent pas seule, mais qui, avec elle, mettent en péril toute notre civilisation occidentale, laquelle a, si j'ose dire, joué tout son avenir sur le progrès scientifique, acceptant sous une forme moderne et collective le pari que PASCAL proposait jadis à l'honnête homme. Si la civilisation occidentale a vraiment misé sur le mauvais cheval, qu'elle le reconnaisse sans tarder, afin de mettre à profit un répit que Dieu pourrait encore lui accorder !

Entre le pessimisme d'un WELLS et l'optimisme des *Atomic Scientists* doit venir s'inscrire l'attitude du savant chrétien. Quelle est cette attitude ? Jamais encore elle n'a été clairement définie, et je n'ai bien sûr pas le pouvoir de le faire ce soir. Mais je considère l'attaque de ce problème comme une des tâches les plus urgentes des communautés chrétiennes. L'Eglise ne saurait éluder plus longtemps cette étude sans renier sa mission même, qui lui commande de vivre dans le monde : et, qu'on le veuille ou non, notre siècle est celui de la Science et de la Technique. N'est-on pas en droit de se demander si, trop simplement préoccupée de son message de péché et de rédemption dans son aspect personnel, l'Eglise chrétienne a donné suffisamment d'attention au rôle de l'activité créatrice de l'homme dans le dessein de Dieu envers le monde ? La Théologie ne devrait-elle pas reconsidérer l'appel du savant spécifiquement chrétien et montrer comment la fidélité à cette vocation particulière peut être ennoblie et réorientée par la foi en Christ ?

Le fait qu'à ce jour l'homme semble avoir reçu le pouvoir nouveau d'agir sur l'existence même de la race humaine rend plus urgente encore la compréhension, à la lumière des Evangiles, de l'appel à cette nouvelle liberté. N'est-il pas hautement souhaitable que les deux disciplines à la fois spécifiques et tour à tour dominantes de la pensée occidentale, la Théologie et la Science, fassent à nouveau connaissance afin de reprendre dans une atmosphère assainie le dialogue si mal engagé par l'Eglise au XVII^e siècle et si heureusement abandonné au début du nôtre, dans l'indifférence d'une confortable neutralité !

De nos jours, en effet, Science et Théologie, à la suite de transformations profondes, connaissent toutes deux un renouveau qui modifie entièrement leurs positions respectives. Chacune pour soi et presque parallèlement — est-ce là un hasard ? — elles ont découvert d'une part le sens à la fois plus intime et plus riche qu'elles doivent donner à l'objet de leur connaissance et d'autre part l'importance essentielle du lien qui joint cet objet à l'homme qui connaît.

Pourquoi la religion chrétienne, qui doit à la Science d'avoir rejeté tant de mythes païens, de s'être libérée de tant d'éléments étrangers à la Révélation, pourquoi la religion chrétienne ne tenterait-elle pas à son tour de venir en aide au savant maintenant dans l'angoisse ? Car une théologie renouvelée, utilisable au front même du combat spirituel que l'homme de science est appelé à livrer dans la solitude pourrait, en ressuscitant sa foi en Christ, le libérer des complexes, des préjugés et des mythes qui paralysent encore son entendement. Et je ne vois pas d'alternative: seule sa foi en Christ pourrait découvrir au savant ces horizons dégagés vers lesquels languit déjà son intelligence déçue du même coup et le gratifier de la vision surnaturelle que commence de réclamer sa renaissante conscience.

Il existe aujourd'hui non seulement des milliers de savants mais encore des millions d'hommes qui errent à la recherche d'un dieu qui pourrait remplacer «le progrès scientifique» déchu. L'Eglise a bien mieux à faire qu'à se réjouir de la fin d'une hérésie qu'elle a fort peu contribué à détruire. La place vide laissée par «la foi dans un avenir meilleur» risque d'être occupée par des forces démoniaques. Qui oserait affirmer qu'un retour à la doctrine de Thrasymaque soit impossible, selon laquelle la justice n'est autre que l'intérêt du plus fort ?

L'Eglise aura-t-elle le courage et surtout la force de proposer au mythe laïque du progrès quelque contrepartie nourrie par la connaissance de l'Evangile et capable de soutenir les hommes et les savants pendant les années cruciales que nous allons vivre ? Il faut le souhaiter.

La Science a besoin d'une conscience, elle vient de le découvrir à la lueur fulgurante des explosions nucléaires. Pourtant, aveuglée, elle ne saurait la trouver par elle-même, et, c'est ma conviction, seul le Christ-Roi peut lui rouvrir les yeux. N'est-ce alors pas à l'Eglise que doit incomber la tâche de ce serviteur qui, il y a 2000 ans, conduisit Saul, aveugle aussi, sur le chemin de Damas ? Et n'y aurait-il pas là pour l'Eglise, pour la Science et pour tous les hommes de ces temps troublés la miraculeuse grâce d'un espoir retrouvé ?

Methoden, Denkweisen und Ergebnisse der Erbforschung an Bakterien

Von
F. KAUDEWITZ

Max-Planck-Institut für Virusforschung, Tübingen

Eines der Grundphänomene, durch die sich Lebewesen von Gegenständen der unbelebten Welt unterscheiden, ist der Vorgang der Vererbung. Er führt dazu, daß über lange Geschlechterfolgen hinweg die Nachkommen ihren Vorfahren gleichen oder doch zumindest in vielen charakteristischen Einzelheiten sehr ähnlich sind. Eine große Anzahl von Leistungen der Form- und Gestaltbildung, des Stoffwechsels, ja beim Menschen sogar der geistigen Betätigung sind erbbedingt. Die Befähigung zu ihrer Durchführung wird vererbt. Sie alle klingen trotz ihrer Vielfalt im einzelnen Lebewesen zu einer wohlgefühten Einheit zusammen, denn ohne Ordnung ist nur Chaos, nicht aber Leben möglich. Ein jedes Lebewesen erweist sich damit als Leistungsgefüge. Die Durchführung aller solcher erbbedingter Einzelleistungen wird durch das Erbgut des betreffenden Lebewesens gesteuert. Und auch dieses Erbgut ist ein Gefüge, zusammengesetzt aus einzelnen Erbfaktoren, von denen jeder die Durchführung einer bestimmten Leistung überwacht. Mit JOHANNSEN, der als erster diese Zusammenhänge erkannte, bezeichnen wir solche Erbfaktoren als Gene. Ihre Bedeutung für die Vererbung ist so grundlegend, daß die Lehre von der Vererbung den Namen Genetik erhielt.

Der Vorgang der Vererbung wird dem Betrachter daran erkennbar, daß die Angehörigen aufeinanderfolgender Generationen die gleichen Leistungen aufweisen. Daraus ergibt sich der zwingende Schluß, daß auch die Wirkung der diese Leistungen steuernden Gene in langen Zeiträumen sich nicht ändert. Die Konstanz der Leistungsfähigkeit ist damit ein charakteristisches Merkmal eines jeden Genes. Dennoch treten, wenn auch sehr selten, Änderungen erbbedingter Leistungen auf, welche auf die spontane Änderung der Leistungsfähigkeit eines bestimmten Genes zurückgeführt werden können. Wir nennen solche Erbänderungen Mutationen. Sie sind so außerordentlich selten, daß die Wahrscheinlichkeit für die Mutation eines bestimmten Genes im Durchschnitt nur 10^{-8} beträgt. Unter 10^8 lebenden Zellen würde sich daher durchschnittlich nur eine einzige befinden, welche eine ganz bestimmte, von uns gesuchte Mutation aufweist.

Trotz dieser Seltenheit von Erbänderungen bildet dennoch die Mutationsforschung ein sehr wichtiges und fruchtbares Teilgebiet der Erbforschung im allgemeinen. Ihre Aufgabe war und ist es, einen Vorgang und seine Auswirkungen – die Mutation – zu untersuchen, dessen Seltenheit eine solche Untersuchung außerordentlich erschwert. Was liegt näher, als nach Objekten zu fahnden, welche durch ihre Eigenart für derartige Untersuchungen besonders geeignet sind. Wie aber sollen diese Lebewesen beschaffen sein? – Seltene Vorgänge werden mit um so größerer Wahrscheinlichkeit beobachtbar, je höher die Anzahl der zur Beobachtung herangezogenen Lebewesen ist, von denen jedes einzelne nur mit außerordentlich geringer Wahrscheinlichkeit den gesuchten Vorgang zeigt. Man braucht daher als Objekte der Mutationsforschung Lebewesen, die sich leicht in großer Menge züchten lassen. Als solche bieten sich Mikroorganismen an. Aus diesen Überlegungen heraus begann vor rund 20 Jahren die Erbforschung Untersuchungen an Viren, Bakterien und niederen Pilzen. In wie großer Zahl sich beispielsweise Bakterien für die Zwecke der Mutationsforschung züchten lassen, möge ein Zahlenbeispiel erläutern: Auf der Oberfläche eines kreisförmigen, 10 cm im Durchmesser betragenden, festen Nährbodens von 1,5 cm Dicke, einer sogenannten Agar-Platte, deren Herstellung nur wenige Rappen kostet, vermögen rund 10^{10} Bakterien zu wachsen. Die gleiche Anzahl ist in 2 ccm Nährbouillon züchtbar, wobei die Generationsdauer (die Zeit zwischen 2 Teilungen einer Bakterienzelle) rund 30 Min. beträgt. 10^{10} , das ist eine Zahl, welche kaum noch irgendwelche Zahlenvorstellungen vermittelt. Daher soll ein Vergleich dieser Zahl Farbe verleihen: Auf der ganzen Erde leben heute rund 3×10^9 Menschen, also nur ein Drittel derjenigen Anzahl, welche die Bakterienpopulation einer einzigen Agar-Platte bildet.

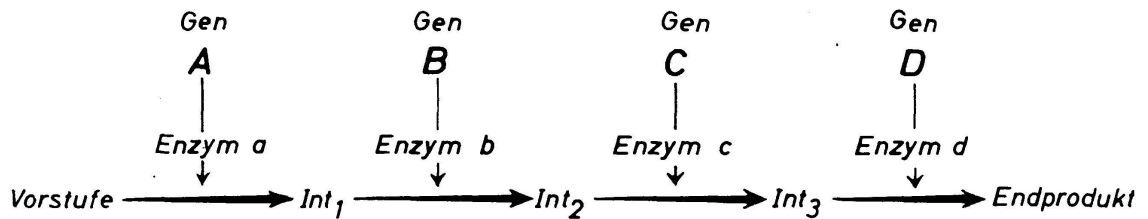
Die Mutationsforschung an Bakterien hat die in sie gesetzten Hoffnungen voll erfüllt. Eine Unzahl von Einzelerkenntnissen, die in ihrer Gesamtheit ein vielseitiges Bild des Mutationsvorganges ergeben, wurden uns bisher durch sie vermittelt. Auch heute noch sind diese Untersuchungen in vollem Flusse. Im Rahmen der vorliegenden Darstellung ist es aus zeitlichen Gründen unmöglich, Einzelheiten abzuleiten. Nur einige wenige Befunde, denen auch praktische Bedeutung zukommt, mögen genannt werden: Mit der Anwendung der Antibiotika zur Bekämpfung der Erreger bakterieller Infektionskrankheiten zeigte sich in ständig zunehmendem Maße, daß gewisse Erregerstämme resistent gegen bestimmte Antibiotika geworden waren. Die genetische Erforschung dieses Phänomens bewies eindeutig, daß eine derartige Resistenz der einzelnen Bakterienstämme gegen ein bestimmtes Antibiotikum durch eine oder mehrere unabhängig voneinander entstandene Mutationen verursacht wird. Durch solche Erbänderungen entstehen beispielsweise aus zuvor Penicillinempfindlichen Bakterien solche, die jede nur denkbare Penicillindosis ungeschädigt überleben können. Die Ergebnisse der Erforschung von Einzelheiten der Entstehung dieser Resistenz gegen Penicillin erlauben es heute, das genannte Antibiotikum erfolgversprechender am Krankenbett anzuwenden. Weitere Untersuchungen stellten sicher, daß die Mu-

tation zu Resistenz gegen ein bestimmtes Antibiotikum spontan vor Anwendung des Antibiotikums erfolgt und nicht durch dieses induziert wird. Das Antibiotikum selektiert lediglich derartige resistente Mutanten dadurch, daß es die nicht zur Resistenz mutierten Zellen abtötet.

Die vielfältigen Ergebnisse der Mutationsforschung an Bakterien erlaubten Aussagen über das Wesen des Vorganges der Wirkungsänderung der Gene. Die Erforschung der Struktur und räumlichen Anordnung dieser Elemente der an Bakterien beobachtbaren Erbvorgänge war zumindest in der hinter uns liegenden Epoche vorwiegend Gegenstand bakterieller Rekombinationsgenetik. Schon seit GREGOR MENDEL stand der Kreuzungsversuch von Angehörigen zweier erbverschiedener Rassen im Mittelpunkt der Erbforschung. Im Verlauf einer solchen Kreuzung werden Erbfaktoren der beiden Kreuzungspartner, welche damit vor Durchführung der Kreuzung in zwei verschiedenen Individuen vorliegen, in einem einzigen Lebewesen der Nachkommengeneration vereinigt. War eine solche Neukombination oder Rekombination von Genen zweier verschiedener Zellen in einer einzigen auch bei Bakterien möglich? Es schien zunächst, als ob diese Frage verneint werden müßte, bis dann schließlich Untersuchungen von AVERY, MACLEOD, McCARTY sowie von LEDERBERG und TATUM und von ZINDER und LEDERBERG eindeutig nachwiesen, daß sich an Bakterienzellen ebenfalls Kreuzungsversuche durchführen lassen. — Naturwissenschaftliche Untersuchungen führen nur sehr selten geradlinig zur vollständigen Aufklärung der am Endpunkt der Versuche durch diese bekannt gewordenen Zusammenhänge. So ist auch die bakterielle Kreuzungsgenetik Zickzackwege gegangen. Im folgenden sollen jedoch die einzelnen Themenkreise so entwickelt werden, wie sie sich uns heute mit mehr oder weniger großer Geschlossenheit darstellen, ohne daß dabei an allen Punkten dem historischen Ablauf der Untersuchungen gefolgt werden wird.

Zuvor jedoch müssen einige Bemerkungen über die Art genetischer Wirkungen gemacht werden, welche bei Erbversuchen an Bakterien gewöhnlich zur Beobachtung gelangen. Die Zellen des in der Natur vortretenden Wildtyps zahlreicher Bakterienarten, wie beispielsweise des Darmbewohners *Escherichia coli*, vermögen aus bestimmten anorganischen Salzen und einer als Energiequelle benutzten Kohlenstoffverbindung, einem sogenannten Minimalmedium, alle die zahlreichen chemischen Verbindungen zu synthetisieren, aus denen sich ihr Zelleib aufbaut und die zur Durchführung des intermediären Stoffwechsels benötigt werden. Die synthetischen Fähigkeiten einer solchen winzigen Bakterienzelle übersteigen damit in vieler Hinsicht diejenigen des menschlichen Organismus. Der Syntheseweg zu jeder zelleigenen Verbindung führt gewöhnlich (Abb. 1) von einer Vorstufe über mehrere Intermediärprodukte schließlich zum Endprodukt. Jeder der in dieser Synthesekette enthaltenen Syntheseschritte verläuft dabei in der lebenden Zelle nur dann, wenn er durch ein bestimmtes, für diesen Schritt bezeichnendes Enzym katalysiert wird. Ein jedes dieser Enzyme aber kann von der Zelle nur unter der Wirkung eines bestimmten Genes hergestellt werden. Mu-

Wildtyp



Mangelmutante

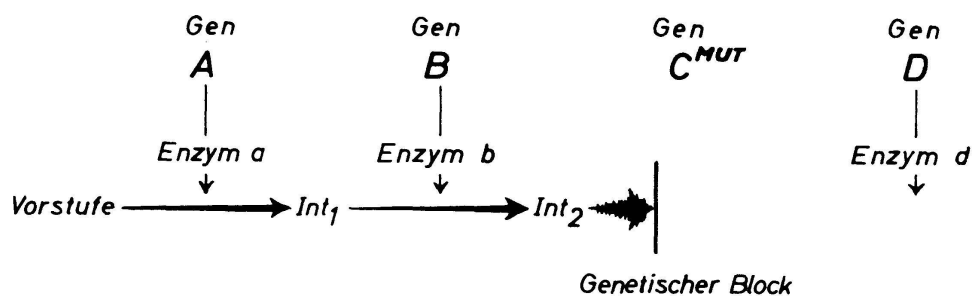


Abb. 1

Oben: Schema der Steuerung einer Biosynthesekette durch spezifische Enzyme, deren Entstehung an die Wirkung bestimmter Gene gebunden ist (genetische Situation einer Wildtypzelle)

Unten: Unterbrechung der gleichen Synthesekette durch Mutation eines Genes (C) und dadurch erzeugten Ausfall der Bildung des Enzyms c (durch genetischen Block gekennzeichnete genetische Situation einer Mangelmutante)

tiert ein solches Gen, so entfällt gewöhnlich dadurch diese steuernde Wirkung, so daß keine enzymatisch wirksamen Moleküle des betreffenden Enzyms mehr gebildet werden. Der entsprechende Reaktionsschritt (in Abb. 1, unten von Int₂ nach Int₃) kann nicht mehr durchgeführt werden. Das vor dem Reaktionsschritt liegende Intermediärprodukt bleibt unverarbeitet liegen und wird daher angehäuft. Die Synthesekette ist unterbrochen, das Endprodukt entsteht nicht mehr. Die betreffende Zelle weist dadurch einen tödlichen Mangel auf, welcher durch genetischen Block hervorgerufen, durch eine Mutation entstand. Sie ist eine Mangelmutante. Im Versuch kann die Lebensfähigkeit einer solchen Mangelmutante wieder dadurch hergestellt werden, daß dem Minimalmedium das ausgefallene Endprodukt als Wachsfaktor zugesetzt wird. Derartige Mangelmutanten, welche die Befähigung zur Synthese bestimmter Aminosäuren, Purine, Pyrimidine oder andere synthetische Fähigkeiten eingebüßt haben und sich dadurch von Zellen des Wildtyps genetisch unterscheiden, werden gewöhnlich zu bakteriengenetischen Untersuchungen verwendet. Ihre Einführung als Objekte genetischer Forschung geschah durch BEADLE unter Verwendung von Zellen des Pilzes *Neurospora*. Dieser Forscher

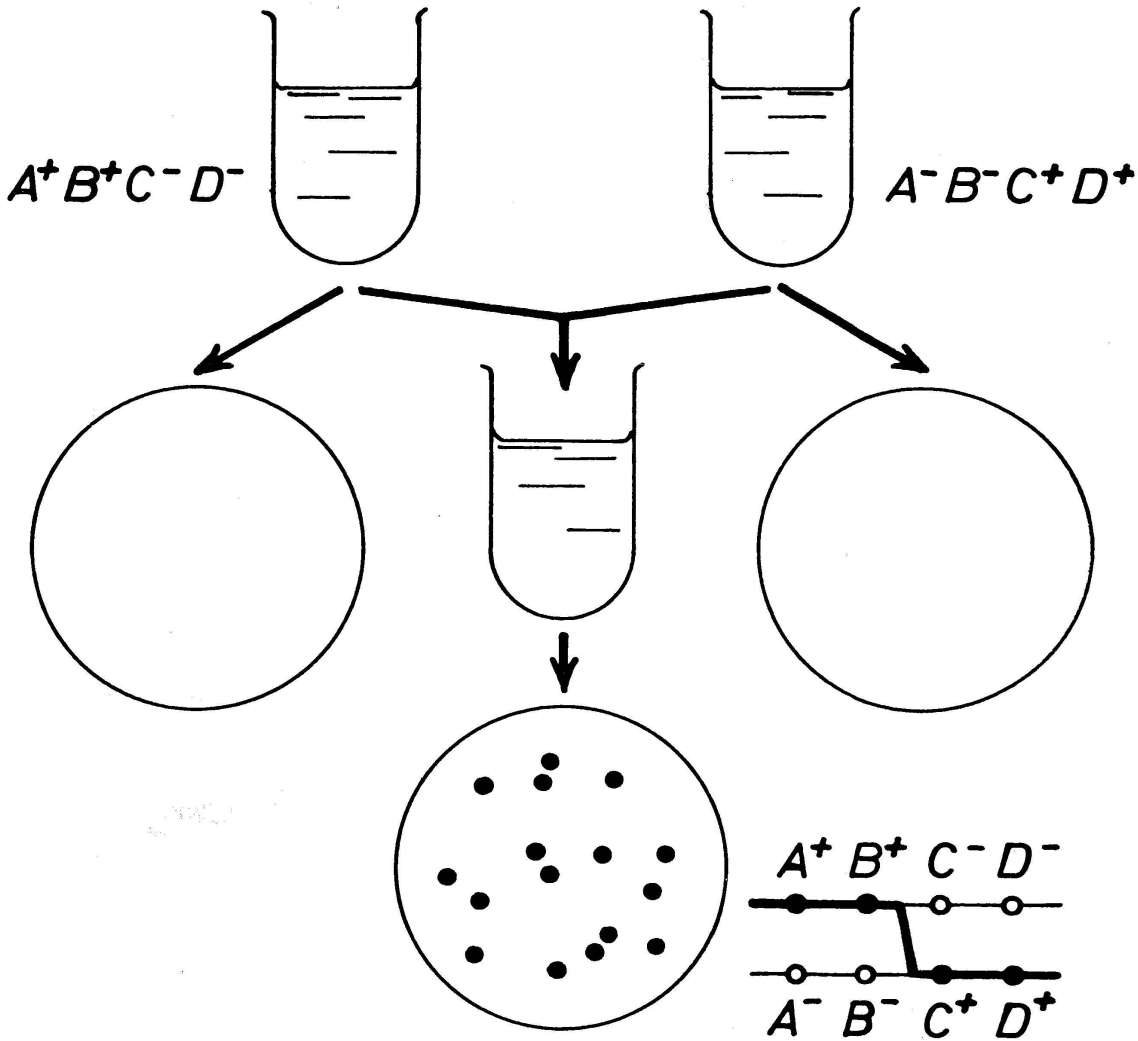


Abb. 2

Rekombination des Genoms zweier doppelter Mangelmutanten von *E. coli*, Stamm K12, zum Wildtyp (Schema)

wurde damit zum Begründer der mikrobiologischen, «biochemischen Genetik», eine Tat, die ihre Würdigung durch die 1958 erfolgte Verleihung des Nobelpreises erfuhr.

Zwei weitere Nobelpreisträger des Jahres 1958, LEDERBERG und TATUM, arbeiteten mit solchen Mangelmutanten von *Escherichia coli* mit der Sammlungsbezeichnung K 12, wobei jeder ihrer Stämme mindestens zwei voneinander unabhängige Mutationen und damit den Ausfall zur Befähigung der Synthese von mindestens zwei verschiedenen für die Zelle lebensnotwendigen Stoffen aufwies. Die zu den Versuchen verwendeten Mutanten waren paarweise reziprok. Diese Bezeichnung besagt, daß in der Mutante 1 diejenigen Gene im Wildtypzustand vorlagen (in Abb. 2, $A^+ B^+$), welche in Mutante 2 zur Funktionslosigkeit mutiert waren ($A^- B^-$). Ein gleiches galt für die mutierten Gene von 1 ($C^- D^-$), die in 2 Wildtypcharakter aufwiesen ($C^+ D^+$). Keiner dieser Stämme wuchs daher auf Minimalmedium (Abb. 2). Wurden jedoch Zellsuspensionen der beiden

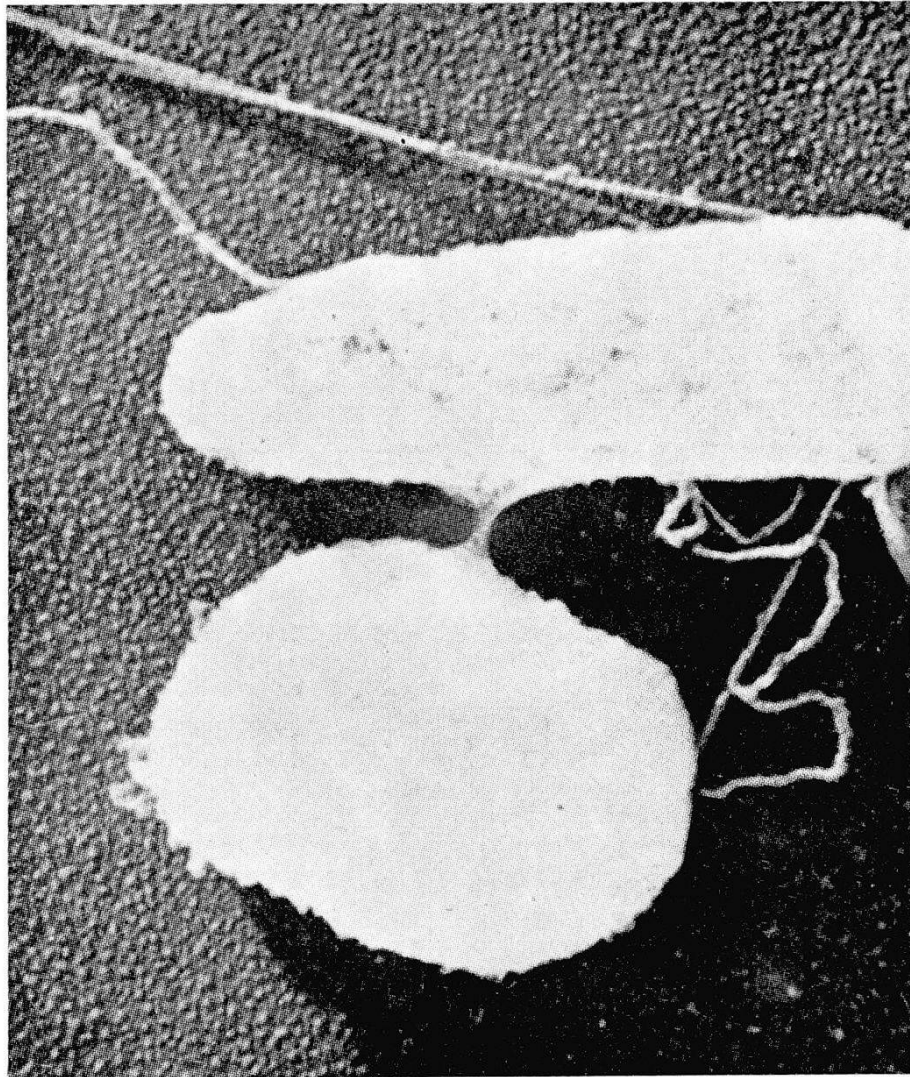


Abb. 3

Elektronenoptische Aufnahmen zweier rekombinierender Bakterienzellen von *E. coli*, Stamm K12, verschiedenen Paarungstyps (aus WOLLMAN, JACOB und HAYES, 1956)

Stämme miteinander gemischt und diese Mischung auf einer aus Minimalmedium bestehenden Agar-Platte ausgestrichen, so entstanden nach Bebrütung Einzelkolonien. Jede von ihnen war durch Vermehrung einer einzigen Zelle hervorgegangen, welche die Synthesefähigkeit des Wildtyps aufwies. Das Erbgefüge einer jeden dieser Zellen mußte daher aus den Wildtypgenen von zwei Zellen kombiniert worden sein, die als reziproke Mangelmutanten den beiden zur Kreuzung verwendeten Stämmen angehörten (Abb. 2, unten rechts). Es lag eine Rekombination von Teilen der Erbgefüge zweier erbungleicher Zellen vor.

Weitere Untersuchungen, an denen sich andere Autoren (JACOB, WOLLMAN, HAYES) führend beteiligten, bewiesen, daß dieser Rekombination die Übertragung der Gene des einen Kreuzungspartners in den anderen vorangeht. Eine solche Übertragung ist ein Vorgang, an dem die übertragende Zelle aktiv, die empfangene Zelle passiv beteiligt ist. Nur die

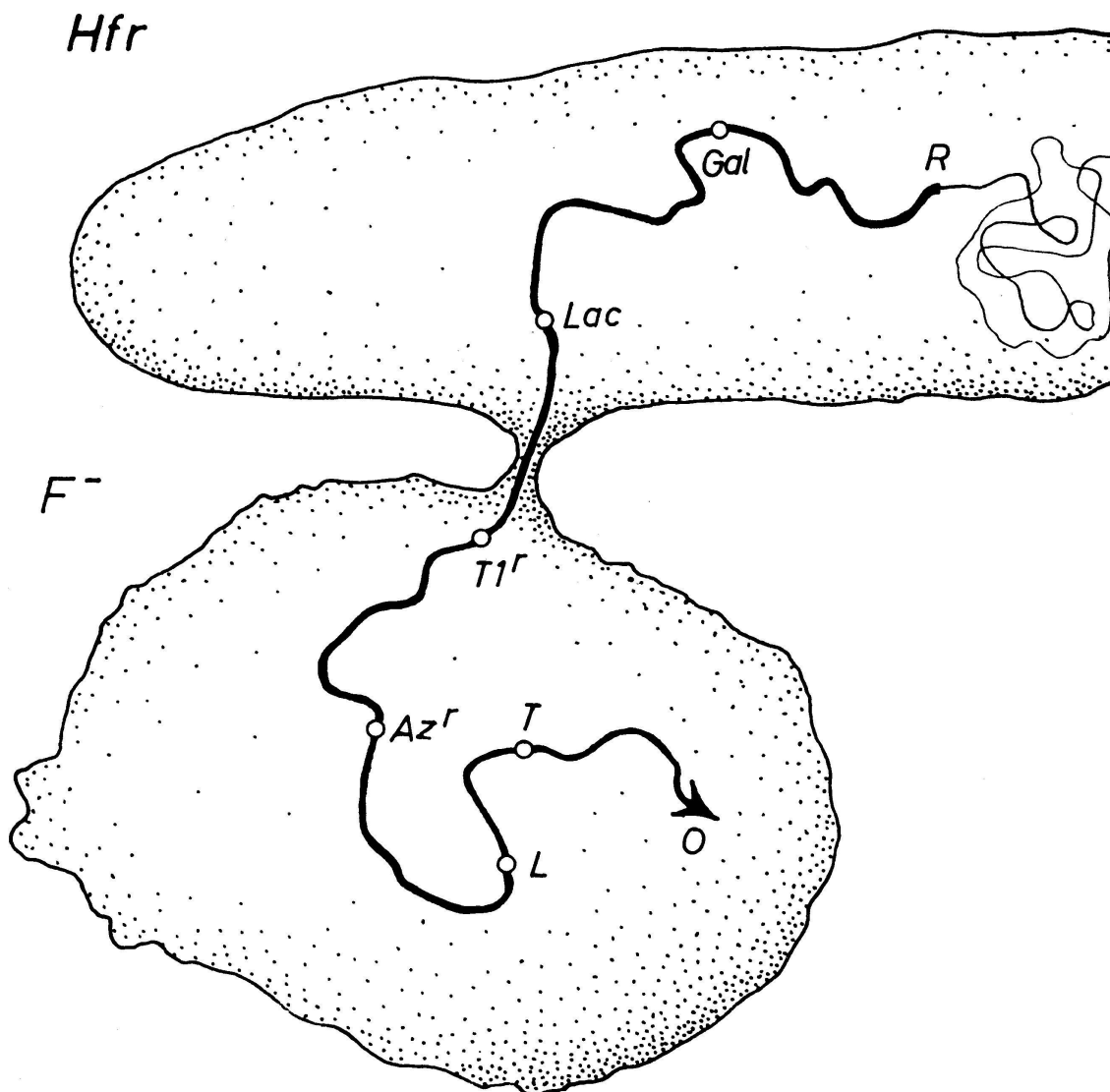


Abb. 4

Schematische Darstellung des in Abb. 3 als elektronenoptische Aufnahme gezeigten Chromosomentransfers aus einer als Spender dienenden Hfr-Zelle in den F⁻-Partner im Verlauf der Rekombination zweier Zellen von *E. coli*, Stamm K12

Zellen bestimmter Stämme eignen sich als aktive Spender. Sie werden als F⁺ im Gegensatz zu den ausschließlich als Empfänger benutzbaren F⁻-Stämmen bezeichnet. In jüngster Zeit gelang es (Abb. 3), die Konjugation zweier *Escherichia coli*-Zellen elektronenoptisch darzustellen. Eine solche Aufnahme bestätigt und erweitert Befunde, die zuvor schon mit anderen Mitteln erhoben wurden: Die beiden konjugierenden Zellen nehmen körperlichen Kontakt miteinander auf, wobei zwischen beiden eine Plasmabrücke gebildet wird. Durch diese wandert im Verlauf von etwa 40 Minuten (Abb. 4) ein fadenförmiges Gebilde, welches die Gene der Zelle trägt, aus der F⁺ in die F⁻-Zelle hinüber. Seine Ähnlichkeit mit einem Chromosom höherer Organismen führt dazu, daß es gewöhnlich ebenfalls als Chromosom bezeichnet wird, ohne daß es bisher je optisch

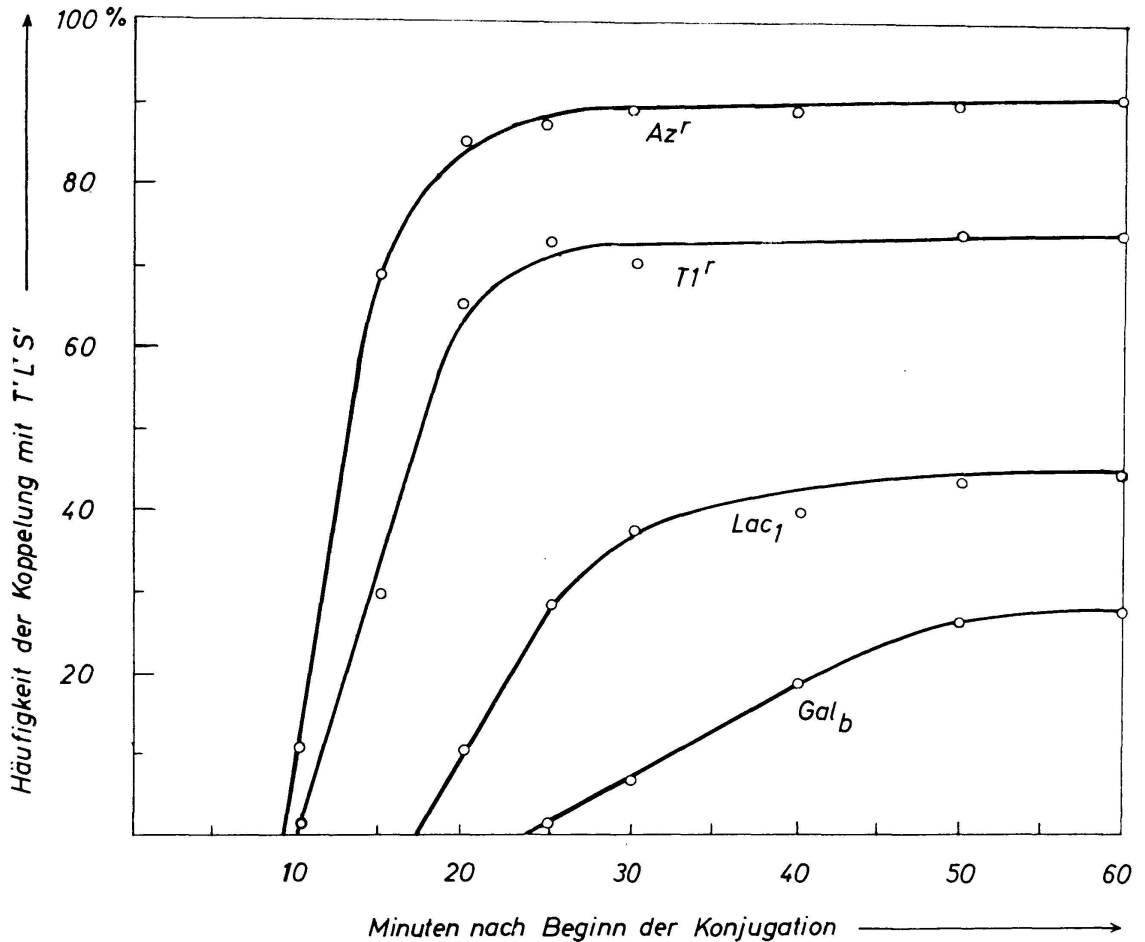


Abb. 5

Zeitliche Aufeinanderfolge der Übertragung der Gene Az^r, T1^r, Lac- und Gal_b im Verlauf des Transfers eines Hfr.-Chromosoms in eine F⁻-Zelle. Im Versuch wird diese Aufeinanderfolge als Abhängigkeit der Koppelungshäufigkeit der genannten Gene mit dem Genkomplex T⁺ L⁺ von der seit Übertragungsbeginn verfloßenen Zeit meßbar (nach WOLLMAN, JACOB und HAYES verändert)

dargestellt werden konnte. Die Befunde, auf die sich die Aussage der Abb. 4 stützt, sind nämlich indirekter Natur: Wird tatsächlich aus der F⁺- in die F⁻-Zelle das F⁺-Chromosom stets mit dem gleichen Ende voran in die F⁻-Zelle hinüber geschoben, dann müssen die auf diesem Chromosom angeordneten Gene um so später in der Empfängerzelle ankommen, je weiter ihr Genort von dem vorderen Ende des Chromosoms entfernt liegt. Eine solche Vermutung ist dadurch prüfbar, daß die konjugierenden Zellen zu verschiedenen Zeiten nach Konjugationsbeginn voneinander getrennt werden und anschließend der Gengehalt der Empfängerzelle untersucht wird. Abb. 5 zeigt das Ergebnis einer solchen Untersuchung. Sie beweist, daß im Verlaufe einer Konjugation die Gene Az^r, T1^r, Lac₁ und Gal_b in der genannten Reihenfolge nacheinander in der Empfängerzelle eintreffen. Diese zeitliche Reihenfolge muß daher die räumliche Aufeinanderfolge ihrer Genorte auf dem F⁺-Chromosom widerspiegeln, ein Tatbestand, der zur Herstellung einer Chromosomenkarte der Gene einer Escherichia coli-Zelle ausgenutzt werden kann (Abb. 6a).

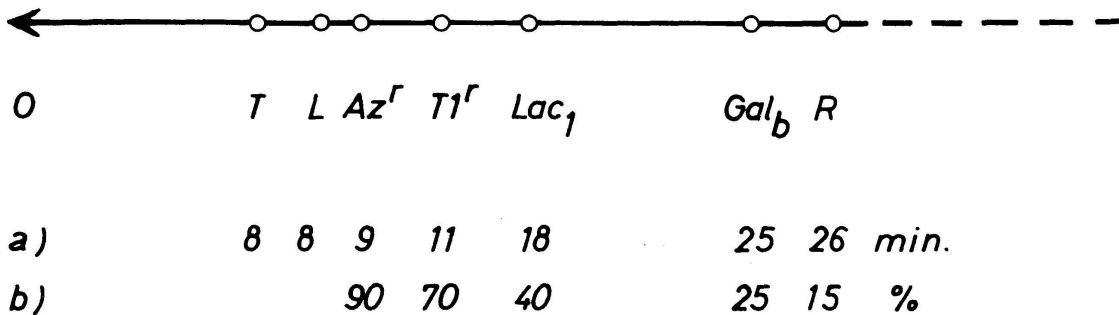


Abb. 6

Genorte eines Segmentes des Hfr-Chromosoms (s. auch Abb. 8b)

a) Aus dem in Abb. 5 dargestellten Versuchsergebnis gewonnene Zeitwerte für das erste Auftreten der betreffenden Gene in der F⁻-Zelle, ausgedrückt in Minuten seit Übertragungsbeginn. b) Koppelungshäufigkeit der betr. Gene mit dem Genkomplex TL (nach WOLLMAN, JACOB und HAYES verändert)

Die genannten Befunde erlauben eine Beschreibung und Deutung des Vorganges der Übertragung des F⁺-Chromosoms in die F⁻-Zelle. Sie sagen nichts über den eigentlichen Vorgang der Rekombination, der Vereinigung von Teilen des Erbgutes beider Zellen aus. Dazu müssen Abschnitte des F⁺- und F⁻-Chromosoms miteinander zu einer neuen einheitlichen Struktur verschmelzen. Untersuchungen von ANDERSON und anderen Autoren, deren Ergebnisse mit Befunden an Viren und anderen niederen Organismen in Einklang stehen, machen es wahrscheinlich, daß die Rekombination kein einfacher Stückaustausch ist, sondern einen Vermehrungsvorgang voraussetzt (Abb. 7). Die durch diese Arbeiten gestützten Vorstellungen sind folgende: Am Ende der Konjugation liegen in der F⁻-Zelle je ein F⁻- und ein F⁺-Chromosom vor. Sie paaren sich und leiten damit die identische Verdoppelung ein. Bei dieser Verdoppelung benutzt das neu entstehende Tochterchromosom eines der beiden vorhandenen Chromosomen als Matrize (in Abb. 7 das mit Hfr bezeichnete Chromosom), kann jedoch im Verlauf der fortschreitenden Verdoppelung zu dem anderen Chromosom hinüberwechseln und vom Wechselpunkt an die Struktur von dessen Genen abbilden. Ist dies der Fall, so enthält nach vollendeter Verdoppelung das neue Chromosom bis zum Wechselpunkt die Duplikate der Gene des F⁺-Chromosoms, nach dem Wechselpunkt diejenigen des F⁻-Chromosoms.

Die dargestellten Zusammenhänge erlauben eine Voraussage: Besitzen gleich lange Chromosomenabschnitte die gleiche Wahrscheinlichkeit, einen derartigen Wechselpunkt aufzuweisen, dann werden die Gene eines der beiden nach der Konjugation vorliegenden Chromosomen auf dem neu entstandenen Tochterchromosom um so häufiger miteinander gekoppelt bleiben, je näher sie einander benachbart sind, um so unwahrscheinlicher also das Auftreten eines Wechselpunktes zwischen ihren beiden Genorten ist (Abb. 7). Ein solcher Zusammenhang erlaubt abermals, nun aber mit einer weiteren von der oben genannten unabhängigen Methodik, die Aufstellung von Genkarten. Dazu müssen die Koppelungshäufigkeiten von Genen des Hfr-Chromosoms nach erfolgter Rekombina-

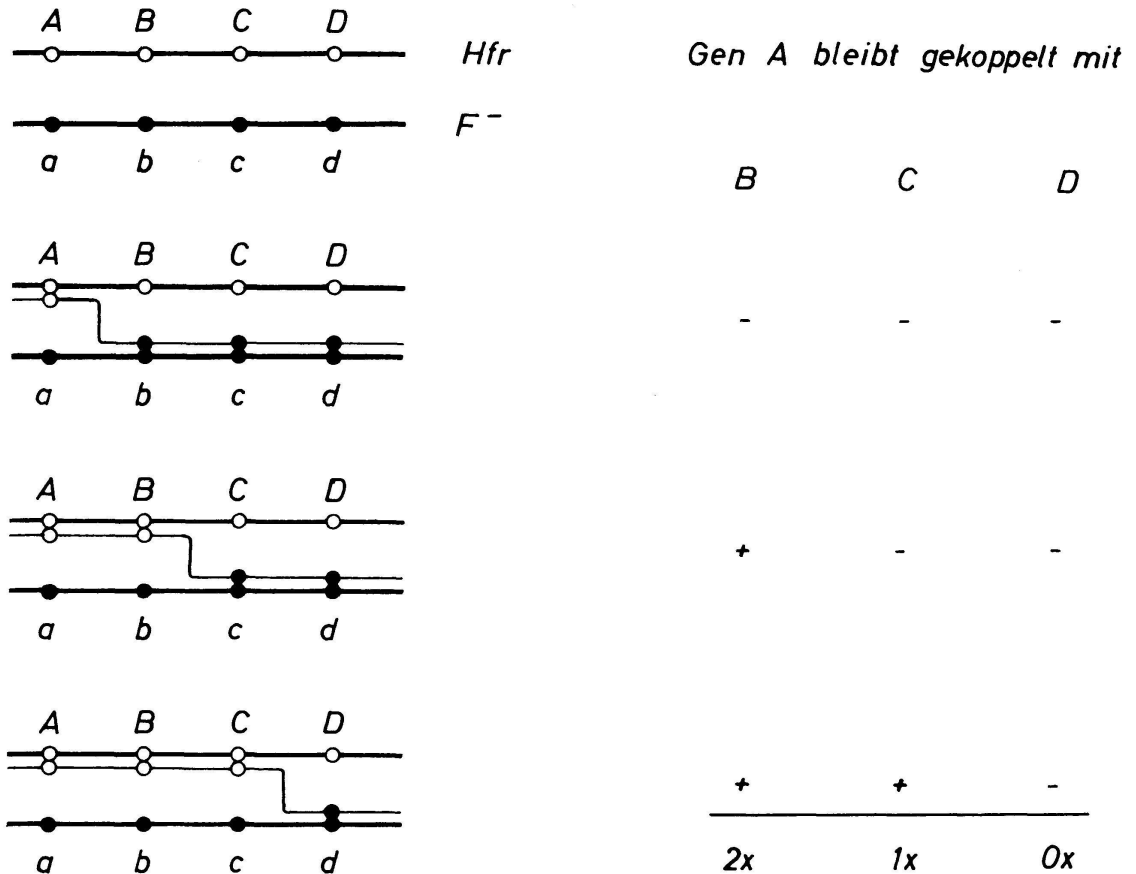


Abb. 7

Schema der Beziehung zwischen Koppelungshäufigkeit im Verlauf der Rekombination und linearem Abstand zweier Gene des Hfr-Chromosoms

tion untersucht werden. In Abb. 6b ist angegeben, in wieviel Prozent der Fälle die uns nun schon bekannten Gene Az^r , $T 1^r$, Lac_1 und Gal_p des F^+ -Chromosoms mit den beiden sehr eng benachbarten und daher als eine Einheit benutzten Genen TL gekoppelt auftreten. Es zeigt sich dabei, daß die Koppelungswahrscheinlichkeit in der genannten Reihenfolge abnimmt. Daraus ist zu schließen, daß in der gleichen Reihenfolge die räumliche Entfernung zu TL wächst. Von besonderem Interesse ist ein Vergleich dieses Ergebnisses mit dem aus der Beobachtung des zeitlichen Verlaufes der Konjugation gewonnenen Befund (Abb. 6a). Beide stehen miteinander in vollständiger Übereinstimmung und sprechen damit für den Wahrheitsgehalt der in Abb. 4 durchgeführten Deutung des Konjugationsvorganges. Die Gesamtheit der Befunde beweist einen sehr wichtigen Zusammenhang: Auch bei *Escherichia coli* und damit wohl auch bei anderen Bakterien sind die Gene auf einer linearen Struktur angeordnet, welche durch ihre Funktion als Genträger einem Chromosom höher organisierter Lebewesen vergleichbar ist.

Untersuchungen von JAKOB und WOLLMAN lassen Schlüsse zu, welche Gestalt dieses Chromosom in einer nicht in Konjugation befindlichen Zelle von *Escherichia coli* einnimmt. Oben wurden Zellen von F^+ -Stämmen als zur Konjugation geeignet bezeichnet. Diese Aussage

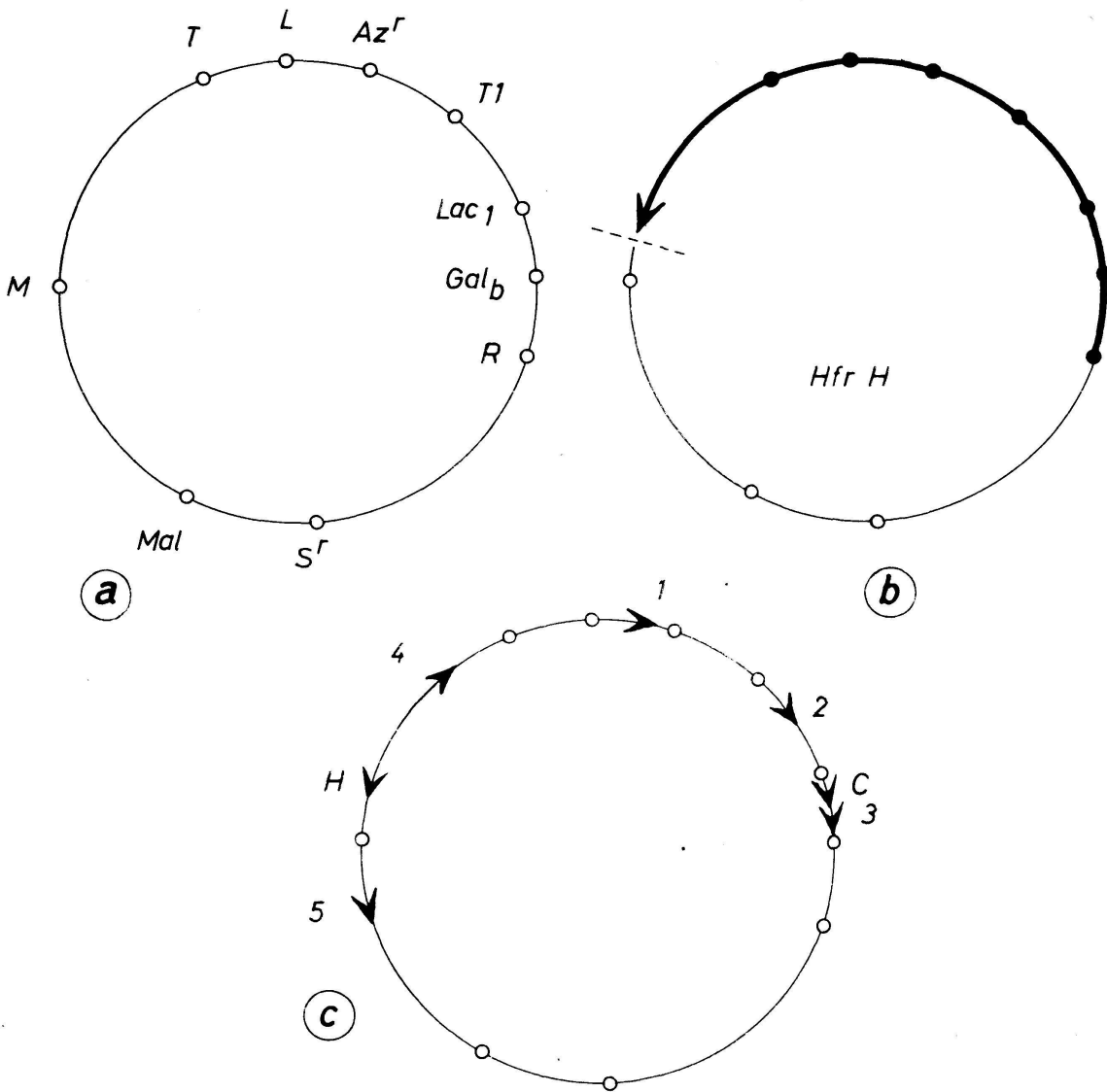


Abb. 8

a) Schema der Ringstruktur des Chromosoms einer F⁺-Zelle des Stammes K12 mit eingezeichneten Genorten. b) Schema des Hfr-Chromosoms eines (nach seinem Entdecker HAYES mit H bezeichneten) Stammes. Der verstärkt wiedergegebene Teil bezeichnet das bei der Übertragung in die F⁻-Zelle gelangende Chromosomen-segment. Die Genkarte der Abb. 6 stellt das gleiche Segment dar. c) Lage der Öffnungspunkte und Markierung der Schubrichtung während der Übertragung, wie sie für die Chromosomen von 7 weiteren Hfr-Stämmen ermittelt wurden (nach JACOB und WOLLMAN umgezeichnet)

bedarf einer Erweiterung. Das F⁺-Chromosom weist Ringform auf (Abb. 8a). Es muß erst durch eine Mutation geöffnet werden, um Stäbchenform anzunehmen und damit zur Rekombination geeignet zu sein. Diese Mutation tritt in F⁺-Zellen mit der Wahrscheinlichkeit von 10⁻⁵ ein. Sie bestimmt nicht nur den mit dem Mutationsort identischen Öffnungspunkt des Ringchromosoms, sondern gleichzeitig auch den Anfangspunkt 0 und damit die Wanderrichtung des nun fadenförmigen Chromosoms im Verlaufe der Konjugation. Derartig mutierte F⁺-Zellen führen unter günstigen Bedingungen mit 100% iger Wahrscheinlichkeit die

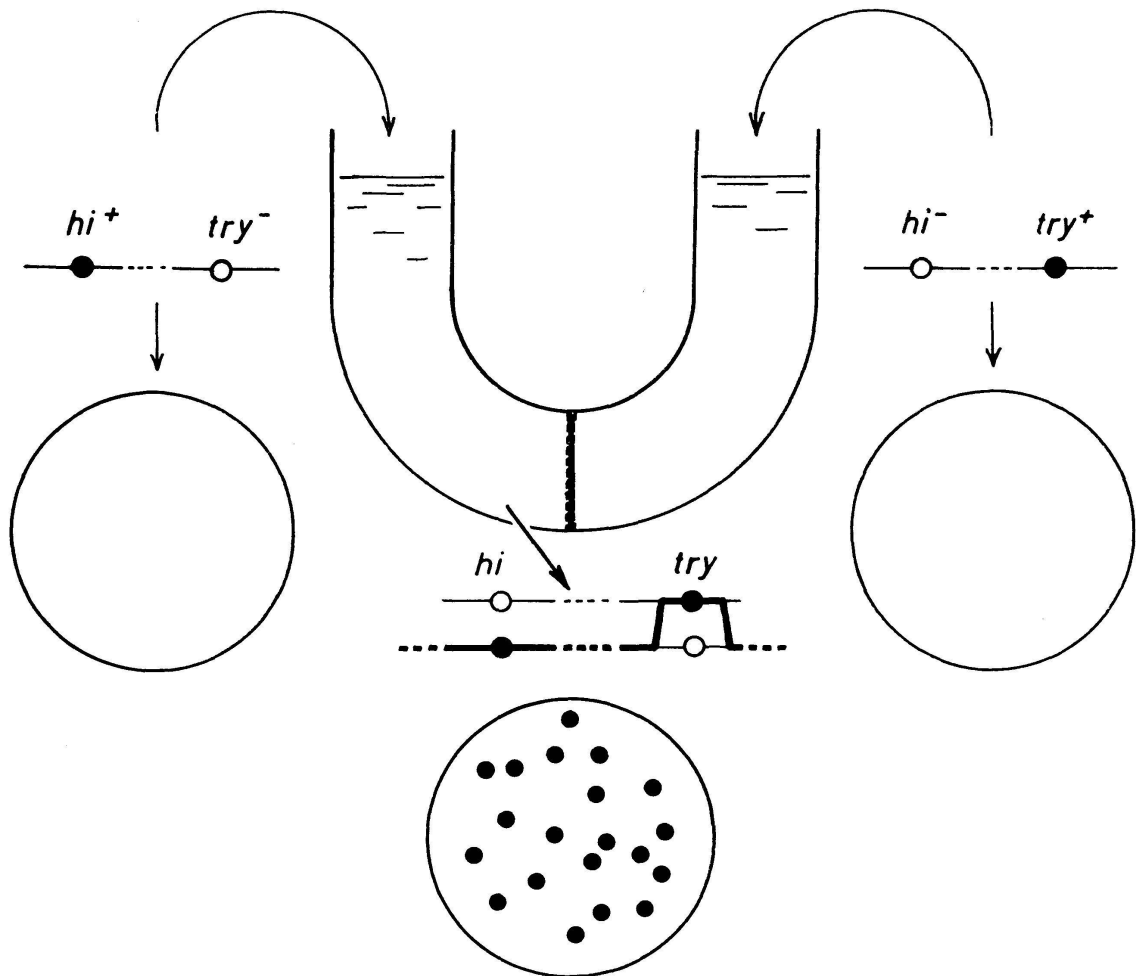


Abb. 9

Schematische Darstellung des Versuches von ZINDER und LEDERBERG, der zur Entdeckung der Transduktion führte (Einzelheiten im Text)

Konjugation mit F^- -Zellen durch. Sie werden daher als Hfr-Zellen (high frequency of recombination) bezeichnet. Im Verlaufe der letzten Jahre gelang es mehreren Autoren, eine Reihe von Hfr-Stämmen zu isolieren, deren zur Ringöffnung führende Mutation an verschiedenen Stellen des F^+ -Ringchromosoms stattgefunden hatte, wobei einzelne dieser Stämme sich auch durch die Verschiedenheit der Wanderrichtung ihres Chromosoms unterschieden. Sie sind in Abb. 8c dargestellt. Die Chromosomenkartierung der Abb. 6 bezog sich auf einen von HAYES isolierten Hfr-H-Stamm, dessen geöffnetes Chromosom in Abb. 8b wiedergegeben ist.

Diese zuerst an *Escherichia coli* K12 durch LEDERBERG und TATUM entdeckte Form der Rekombination des Erbgutes zweier Bakterienzellen blieb nicht die einzige ihrer Art. Wenige Jahre später, im Jahre 1952, verwendete im Labor von LEDERBERG der damalige Doktorand ZINDER zwei verschiedene Mangelmutanten der Bakterienart *Salmonella typhimurium* zu seinen Versuchen (Abb. 9). Der eine dieser beiden Stämme hatte durch Mutation die Befähigung zur Synthese der Aminosäure Histidin, der andere der Aminosäure Tryptophan eingebüßt. Keiner der

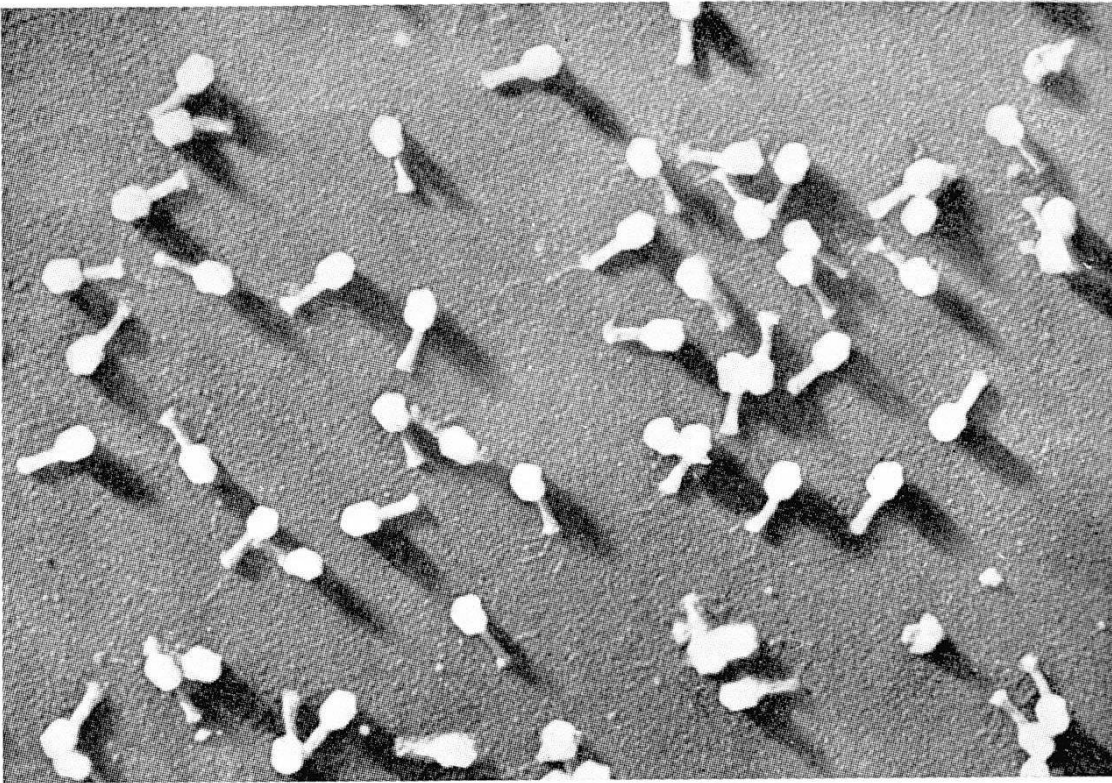


Abb. 10

Elektronenoptische Aufnahme einzelner Partikel des Phagen T2 von *E. coli* (nach HERRIOT und BARLOW, 1953)

beiden reziproken Stämme konnte daher auf Minimalmedium wachsen. Bei seinen weiteren Versuchen benutzte ZINDER ein U-Rohr, deren Schenkel durch ein bakteriendichtes, im Rohr befindliches Filter voneinander abgetrennt waren. In jeden Schenkel wurde die Zellsuspension einer der beiden Mangelmutanten gefüllt (Abb. 9). Das zwischen ihnen befindliche Bakterienfilter verhinderte die Berührung zweier, den beiden verschiedenen Stämmen angehörenden Zellen und machte damit eine Rekombination nach dem Schema der an K12 beobachteten unmöglich. Dennoch ließen sich wenige Stunden nach Versuchsbeginn aus dem die Tryptophan-Mangelmutante enthaltenden Schenkel des U-Rohres Wildtypzellen isolieren, welche zum Wachstum auf Minimalmedium befähigt waren. Rückmutation der Tryptophan-Mangelmutante zum Wildtyp konnte ausgeschlossen werden, so daß es sich abermals um eine Rekombination des hi^+ -Gens der Tryptophan-Mangelmutante mit dem try^+ -Gen der Histidin-Mangelmutante handeln mußte. Weitere Versuche zeigten, daß der Gentransport durch das Filter an Partikel von Virusgröße gebunden war, welche sich als Bakteriophagen erwiesen.

Bakteriophagen sind Viren, welche nur in Bakterien zur Vermehrung gelangen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Wirtsspezifität aus. Von Art zu Art unterscheiden sie sich in ihrer Form, sind jedoch in den meisten Fällen aus einem kugeligen bis hexagonalen (Abb. 10) Kopf und einem daran befindlichen mehr oder weniger langen, bei einzelnen Arten sehr

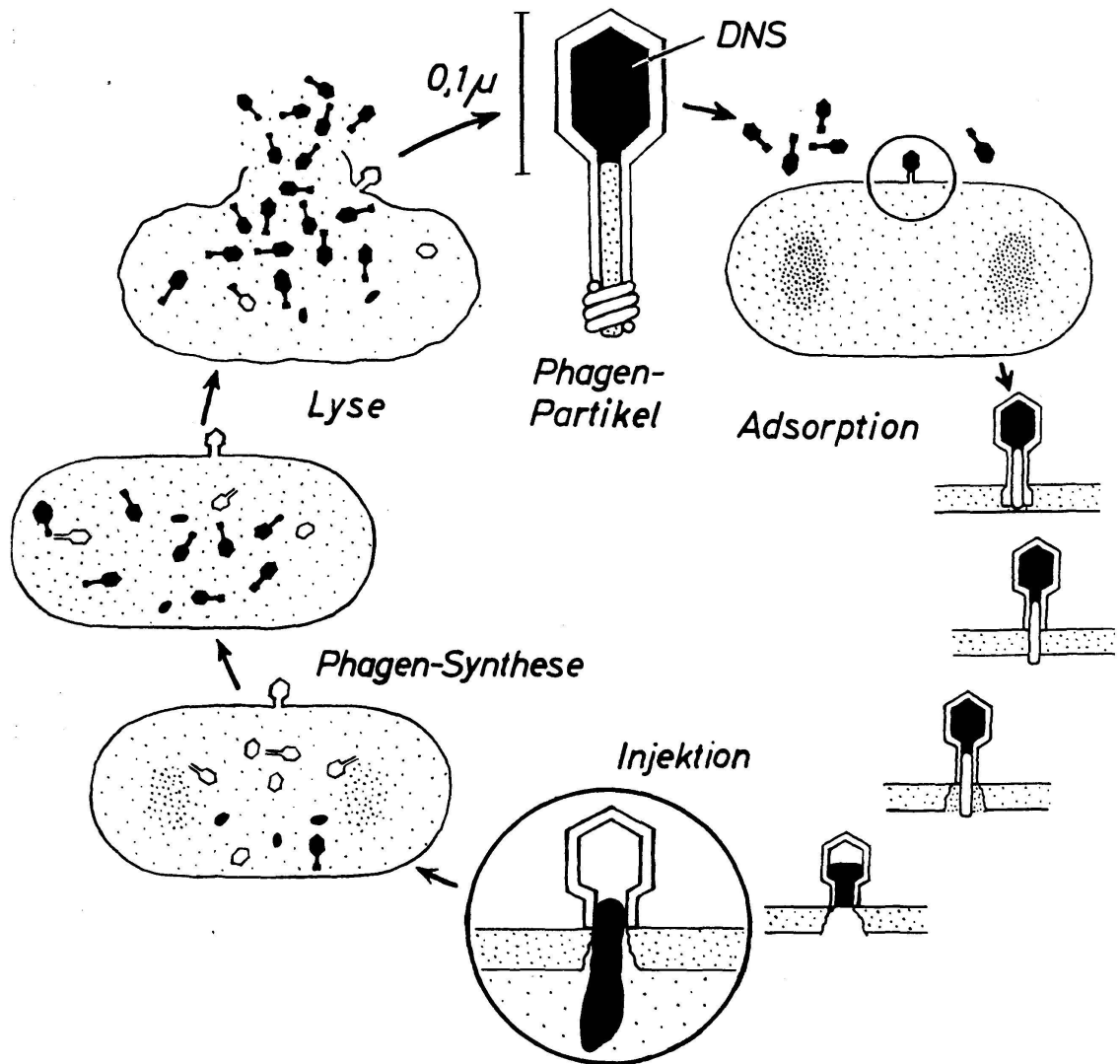


Abb. 11

Vermehrungszyklus eines virulenten Bakteriophagen (Schema)

stark reduzierten Schwanzteil aufgebaut. Im Innern des Kopfteiles befindet sich (Abb. 11) als genetische Substanz des Bakteriophagen eine Verbindung mit der Bezeichnung Desoxyribonucleinsäure (DNS). Der erste Schritt der Phagenvermehrung ist die Adsorption der Schwanzspitze einer Phagenpartikel an der Außenmembran des zukünftigen Wirtsbakteriums. Über mehrere Zwischenstufen hinweg erfolgt schließlich die Injektion der Phagen-DNS in die Bakterienzelle, während die Phagenmembran an der Bakterienoberfläche verbleibt. Unter dem Einfluß der Phagen-DNS beginnt die Zelle neue Phagenpartikeln zu synthetisieren, welche nach Lyse der Zelle in das Außenmedium frei werden und weitere Bakterien befallen können. Abb. 12 zeigt eine elektronenoptische Aufnahme von Zellen der Bakterienart *Mycobacterium spec.*, die mit Phagen befallen sind. Die Zelle oben links enthält in ihrem Inneren bereits neu synthetisierte Phagen. An ihrer Oberfläche haften noch Membranen von Phagenpartikeln, deren injizierte DNS zur Phagensynthese führte.



Abb. 12

Vermehrung eines Bakteriophagen (*Phagus lacticola*) in Zellen von *Mycobacterium spec.* (elektronenoptische Aufnahme von PENSO)

Die Zelle in der Bildmitte kann erst vor wenigen Sekunden von Phagen befallen worden sein, da diese noch mit DNS prall gefüllte Kopfteile aufweisen, ihre DNS also noch nicht injiziert haben.

Von diesem Vermehrungsmodus virulenter Phagen unterscheidet sich derjenige der sogenannten temperierten Phagen. Die Injektion ihrer DNS führt nicht sofort zum Einsetzen der Synthese neuer Phagenpartikeln. Die eingedrungene DNS nimmt vielmehr als Prophage einen voraus-sagbaren, für die betreffende Phagenart spezifischen Genort auf dem Bakterienchromosom ein und wird vor jeder Zellteilung mit den Genen des Bakteriums synchron verdoppelt. Erst viele Generationen später setzt dann aus noch unbekanntem Gründen die Phagensynthese ein, welche zur Lyse der Zelle führt. Zellen, die einen Phagen enthalten, werden daher als «lysogen» bezeichnet.

ZINDER arbeitete mit halbt temperierten Phagen. Ihre Partikel führen durch Injektion der DNS dazu, daß ein bestimmter Prozentsatz der infizierten Bakterienzellen lysiert, der Rest aber die Infektion überlebt und lysogen wird. Derartige Bakteriophagen besitzen die Fähigkeit, im Verlaufe ihrer Synthese innerhalb der Bakterienzelle Teile des Bakterienchromosoms zusammen mit Teilen ihrer DNS in ihren Kopfteil einzuschließen und später in eine andere Bakterienzelle zu injizieren. Dadurch ist ein Transport von Genen aus einer als Spender dienenden Bakterienzelle in eine andere, die Empfängerzelle, möglich, wobei eine Phagenpartikel als Transportmittel benutzt wird. In der Empfängerzelle findet dann, ganz ähnlich wie bereits für K12 dargestellt, eine Rekombination

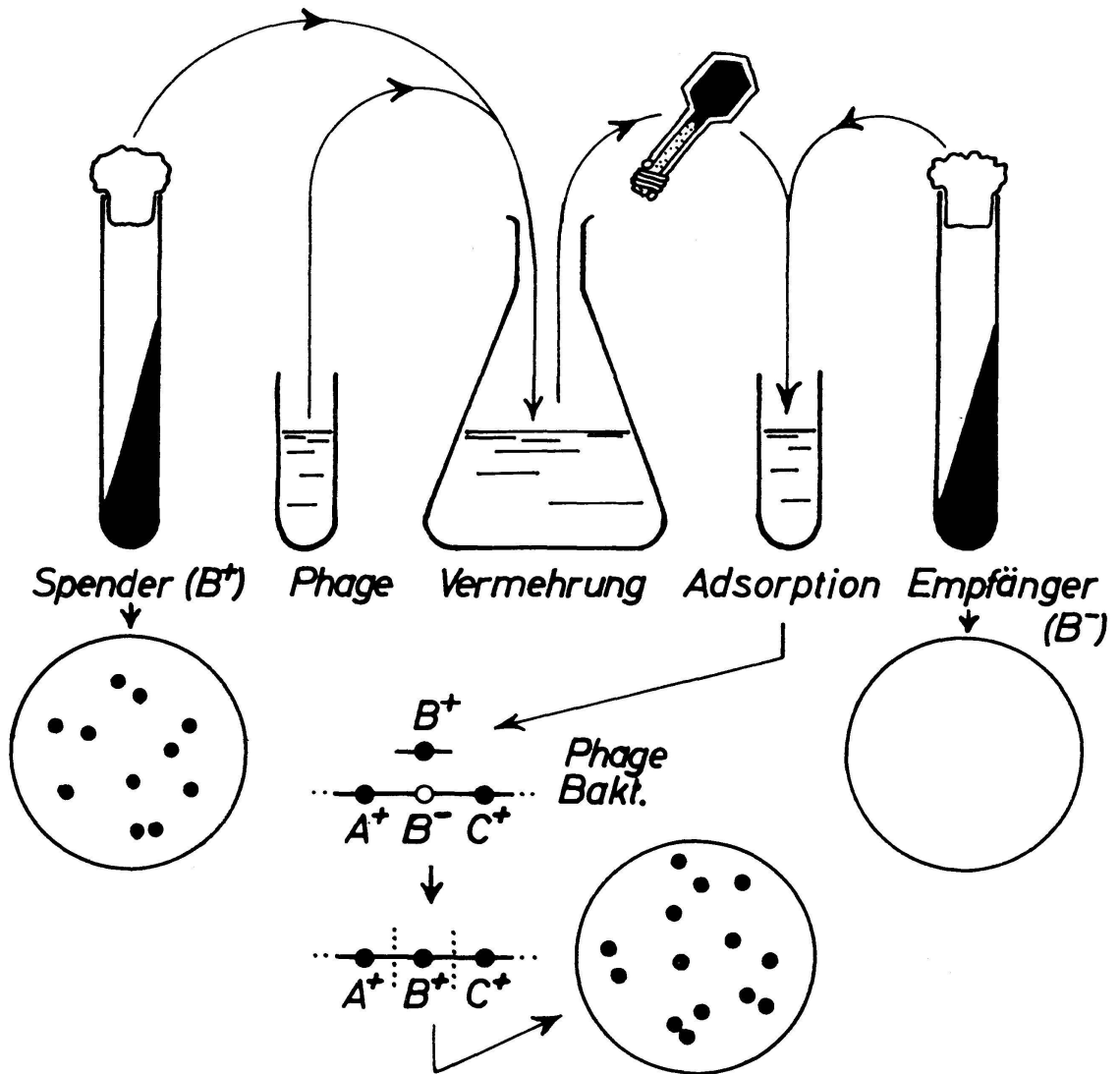


Abb. 13

Schematische Darstellung des Verlaufes der rekombinativen Transduktion einer Mangelmutanten B^- zum Wildtyp B^+

der Gene beider Zellen statt. Eine solche Übertragung von bakteriellen Genen mit Hilfe eines Phagen heißt Transduktion. Sie wird in der bakteriengenetischen Forschung in weitem Maße als Mittel der Kreuzung zweier Bakterienstämme verwendet.

Folgen wir dem Ablauf einer sogenannten Wildtyptransduktion: Sie dient dazu, das zur Funktionslosigkeit mutierte Gen einer Mangelmutanten (in Abb. 13 das Gen B^-) durch das homologe Wildtyp-Gen (B^+) des Wildstammes zu ersetzen. Zellen des als Spender dienenden Wildtyps gelangen zusammen mit zur Transduktion geeigneten Bakteriophagen in ein Medium, in dem innerhalb der Bakterienzellen die Phagenvermehrung stattfindet. Die aus der Suspension gewonnenen Phagen enthalten nun bakterielle Gene des Spenderstammes, unter denen sich auch das Gen B^+ befindet. Diese Phagen werden mit Zellen des Empfängerstammes B^- gemischt und injizieren nach Adsorption an der

Bakterienmembran ihre DNS zusammen mit den in ihnen enthaltenen Genen der Spenderzelle. Gelangt so ein Chromosomenstück, welches das Gen B^+ enthält, in eine Empfängerzelle, dann kann es in den Nachkommen dieser Zelle an Stelle des Genes B^- treten und damit diese Zelle zum Wildtyp machen. Sie ist im Gegensatz zu ihrer Mutterzelle zum Wachstum auf Minimalmedium in gleicher Weise geeignet wie die Spenderzelle, der das Gen B^+ entstammt.

Im Verlaufe einer Transduktion werden immer nur kleine Chromosomenbruchstücke, welche die Orte nur weniger Gene enthalten, in die Empfängerzelle übertragen. Ganz ähnlich wie dies für *Escherichia coli* K12 dargestellt wurde, läßt sich auch bei Transduktionsexperimenten die Rekombinations- und Koppelungshäufigkeit zur Aufstellung von Genkarten benutzen. Die Kleinheit des übertragenen Chromosomenstückes bedingt jedoch einen im Vorstehenden bisher nicht erwähnten Aussagebereich solcher Experimente. Transduktionsversuche erlauben nicht ohne weiteres die Feststellung der Lagebeziehungen weit voneinander entfernt liegender Gene. Sie erweisen sich vielmehr als ein ausgezeichnetes Mittel, die Feinstruktur innerhalb eines einzigen Genortes zu erforschen und die Lagebeziehungen eng benachbarter Gene zu erhellen. Ein Beispiel möge dies erläutern:

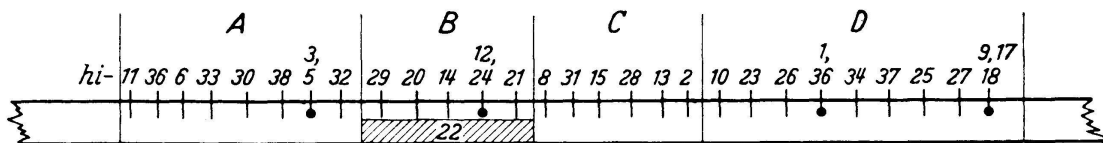


Abb. 14

Lagebeziehung und Feinstruktur der Gene der letzten Schritte der Histidinsynthese (Einzelheiten im Text). (Aus P. HARTMAN, 1956)

Der Arbeitskreis um DEMEREC hatte eine größere Anzahl von Histidin-Mangelmutanten der Bakterienart *Salmonella typhimurium* isoliert. Ihre von P. HARTMAN vorgenommene Transduktionsanalyse führte zur Aufstellung der in Abb. 14 wiedergegebenen Genkarte. Sie zeigt vier benachbarte Genorte A, B, C, D. Jeder dieser Genorte weist eine ganze Reihe voneinander unterschiedlicher Mutationsorte auf, die mit verschiedenen Zahlen gekennzeichnet sind. Alle in einem Genort liegenden Mutationsorte führen zum Ausfall des gleichen Enzyms und damit zum gleichen Phänotyp. Zwischen zwei Mutationsorten eines einzigen Genortes ist eine Wildtyprekombination möglich. Diese Mutationsorte sind daher auch Rekombinationsorte. Derartige Tatbestände mögen zunächst recht verwickelt erscheinen. Für unser heutiges Genkonzept besitzen sie jedoch außerordentliche Bedeutung. Sie zeigen, daß ein als Genort bezeichneter Chromosomenabschnitt, welcher die Synthese eines einzigen bestimmten Enzyms steuert, gleichzeitig aus zahlreichen Mutations- und Rekombinationsorten zusammengesetzt ist. Damit bahnt sich eine Wandlung und teilweise Auflösung des klassischen Genbegriffes an, welcher

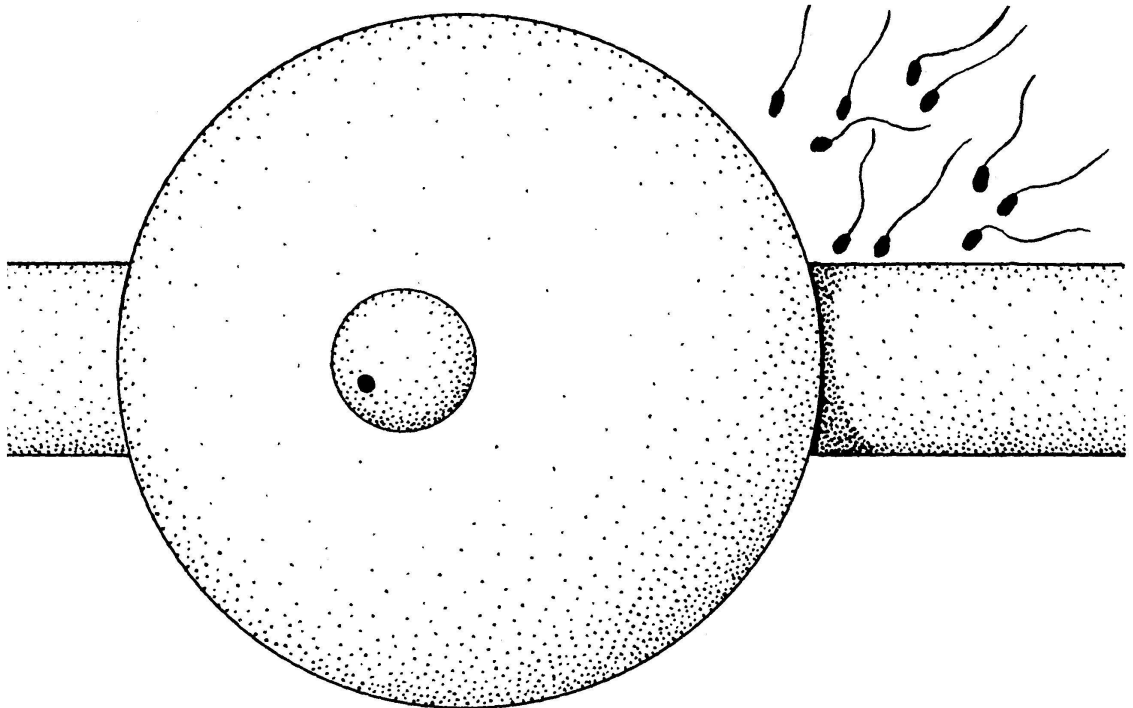


Abb. 15

Im gleichen Größenmaßstab ausgeführte schematische Darstellung eines menschlichen Haares, einer menschlichen Eizelle und menschlicher Spermien

das Gen gleichzeitig als kleinste Einheit genetischer Wirkung, der Mutation und der Rekombination betrachtete.

Im Zusammenhang mit der Darstellung von Problemen der Mutationsgenetik war als charakteristisches Merkmal eines Genes die über zahlreiche Generationen hinweg beobachtbare Konstanz seiner Leistung genannt worden. Gene sind Objekte der materiellen Welt. Sie müssen aus einem chemisch definierbaren, außerordentlich stabilen Baumaterial bestehen. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn die biochemische Genetik im Laufe ihrer Entwicklung bald nach der chemischen Natur des Baumaterials dieser Gene, der «genetischen Substanz», zu fragen begann. Das erstaunliche Ausmaß der Organisationsleistung, die dieses Material vollbringt, entzieht sich unserer Vorstellungskraft. Ein Größenvergleich vermag einen Begriff dieser Leistung zu geben: In Abb. 15 sind schematisch im gleichen Größenverhältnis eine menschliche Eizelle, ein menschliches Haar und menschliche Spermien dargestellt. Bei der Befruchtung vereinigen sich ein Spermienkopf und eine derartige Eizelle zur Zygote. Diese enthält den doppelten, jedes Spermium den einfachen Satz der Gene eines Menschen. Es läßt sich leicht der Rauminhalt derjenigen Spermien errechnen, welche die Eizellen befruchteten, aus denen alle heute lebenden, rund 3 Milliarden zählenden Menschen hervorgingen: Alle diese Spermien ließen sich in den Glasknöpfen von 3 Stecknadeln unterbringen. Das Baumaterial aller Gene, welche für die erbgeliebten Leistungen der heute lebenden Menschen verantwortlich sind, würde

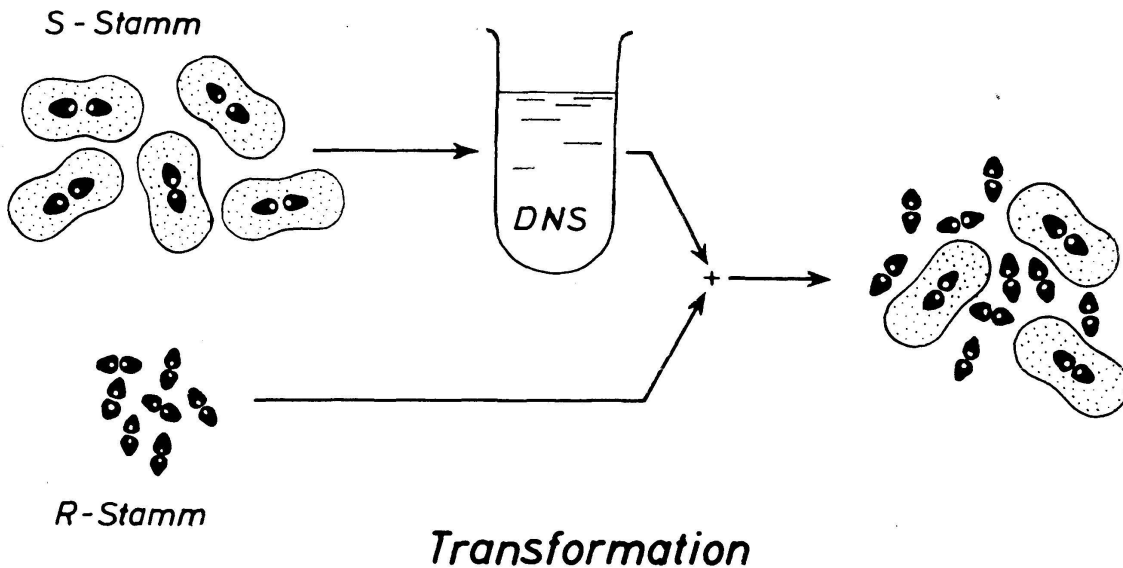


Abb. 16

Übertragung der genetisch bedingten Fähigkeit zur Kapselbildung durch Transformation auf nicht kapselbildende Zellen von Pneumococcus (Schema)

damit das Doppelte davon, also den Rauminhalt von 6 Stecknadelköpfen beanspruchen.

Welcher Art ist das Baumaterial dieser Gene, dem eine derartige, ans Wunderbare grenzende Leistungsfähigkeit zukommt? Auf diese Frage geben Versuche an Bakterien Auskunft, welche bereits am Beginn der vierziger Jahre dieses Jahrhunderts durch AVERY, MACLEOD und McCARTY ausgeführt wurden. Sie verwendeten dazu zwei Stämme der Bakterienart Pneumococcus, des Erregers der Lungenentzündung. Die Zellen des sogenannten S-Stammes (Abb. 16) besitzen die Fähigkeit zur Bildung einer Polysaccharidkapsel, welche jeweils zwei als Diplococcen vorliegende Zellen umgibt. Sie sind pathogen. Die Zellen des R-Stammes vermögen auf Grund einer Mutation die Kapsel nicht mehr zu bilden. Sie sind also «Kapsel-Mangelmutanten» und haben dabei auch ihre Pathogenität eingebüßt. Die Autoren stellten aus Zellen des S-Stammes einen Extrakt her und reinigten ihn so weit, daß er zu mindestens 99,9% aus Desoxyribonucleinsäure bestand. Wurde derartige DNS mit Zellen des R-Stammes gemischt, so erlangten etwa 1% der Nachkommen dieser Zellen wieder die Befähigung zur Kapselbildung. Sie erwiesen sich als genetisch stabil und identisch mit Zellen des S-Stammes. Diese und später durchgeführte Versuche ließen nur den einen Schluß zu: Das Baumaterial der Gene ist Desoxyribonucleinsäure. Das Kapsel⁺-Gen des S-Stammes gelangt in einem derartigen «Transformations»-Versuch in Gestalt seines Baumaterials, der DNS, in Zellen des R-Stammes und ersetzt auf dem Wege der Rekombination in diesen Empfängerzellen das Kapsel⁻-Gen. Damit ist nach der Nennung der K12-Rekombination und der Transduktion der dritte bisher bekanntgewordene Weg bakterieller Genrekombination, die Transformation, beschrieben.

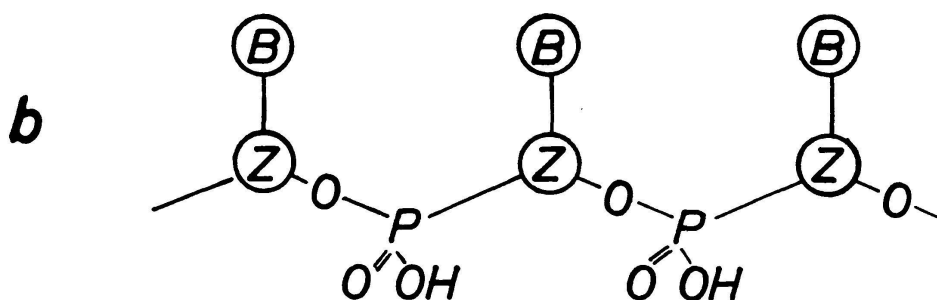
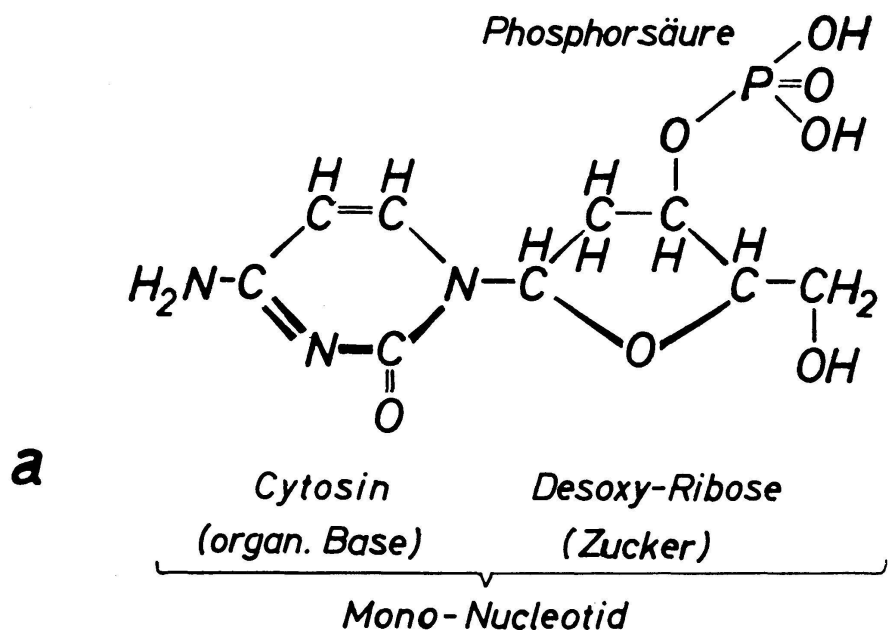


Abb. 17

a) Aufbau eines Mononucleotids der DNS aus einem Molekülteil Phosphorsäure, einem Molekülteil Desoxyribose und einem Molekülteil organischer Base. *b*) Art der Verknüpfung aufeinanderfolgender Mononucleotide innerhalb eines fadenförmigen DNS-Moleküls. Z = Zucker = Desoxyribose, B = organische Base

Der chemische Aufbau der Desoxyribonucleinsäure ist wohl bekannt. Sie besteht aus fadenförmigen Makromolekülen mit einem Molekulargewicht von mehreren Millionen. Jedes dieser Moleküle setzt sich aus einer großen Anzahl sogenannter Mononucleotide zusammen. Abb. 17a zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Mononucleotids. Es besteht aus einem Molekül Phosphorsäure, Desoxyribose und einer organischen Base. Von Wichtigkeit ist dabei, daß in der DNS vier verschiedene derartige Basen, das Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin, vorkommen. Wie Abb. 17b zeigt, sind die Mononucleotide im DNS-Faden über den Phosphorsäuremolekülteil miteinander verknüpft. Wie aber kann ein derartiges Molekül genetische Wirksamkeit erlangen? Auch diese Frage ist heute beantwortbar geworden: Vererbung bedeutet die Weitergabe der Befähigung zur Durchführung bestimmter Leistungen. Sie ist also unter dem Bilde einer Informationsübermittlung zu verstehen. Träger dieser

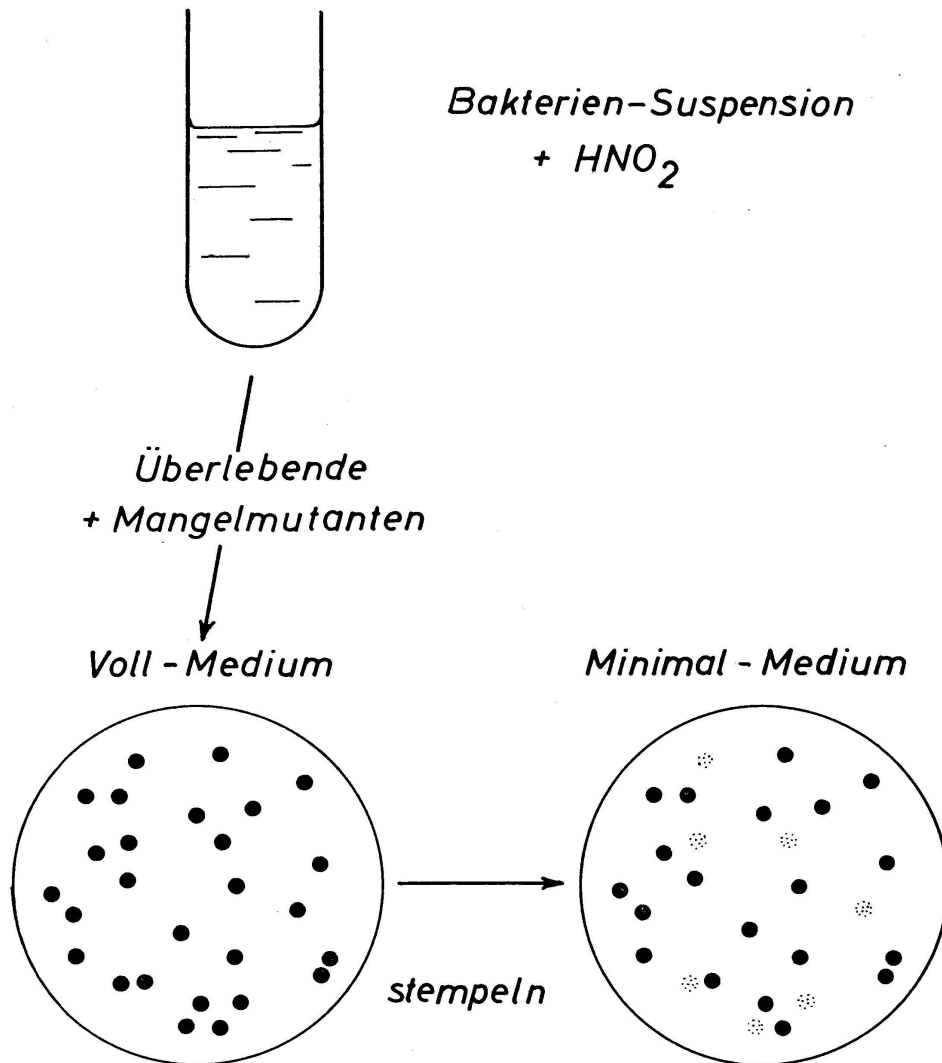


Abb. 18

Schema des Versuchsablaufes bei der Induktion auxotropher Mutanten von *E. coli* durch Behandlung mit salpetriger Säure

Information sind die Gene, ist damit die DNS. So, wie beispielsweise in der Morseschrift einzig und allein durch die sinnvolle Anordnung von Punkten und Strichen eine Information gespeichert und weitergegeben werden kann, ist dies auch in den Makromolekülen der DNS möglich. Hier jedoch sind es nicht drei verschiedene Elemente, wie die Punkte, Striche und Buchstabenzwischenräume der Morseschrift, sondern nur die vier unterschiedlichen Basen, und damit Mononucleotidtypen. So sind die Basen in der spezifischen Art ihrer Aufeinanderfolge innerhalb eines DNS-Makromoleküls die Träger genetischer Information und damit genetischer Wirkung.

Wenn diese Aussage zutrifft, müßte es möglich sein, durch chemische Umwandlung einzelner Basen eines DNS-Moleküls die in ihnen enthaltenen genetischen Informationen zu verändern oder gar ihres Sinnes zu berauben und dadurch Mutationen herzustellen. Aufbauend auf Unter-

suchungen an Ribonucleinsäure des Tabakmosaikvirus, die von SCHUSTER und SCHRAMM sowie von MUNDY und GIERER durchgeführt wurden, behandelte der Referent Zellen von *Escherichia coli* mit salpetriger Säure (Abb. 18). Dadurch werden die Basen Adenin, Guanin und Cytosin der DNS zu den für die DNS unphysiologischen Basen Hypoxanthin, Xanthin und Uracil desaminiert. Zellen, welche diese Behandlung überlebten, wurden auf einem sogenannten Vollmedium ausgestrichen, das alle von Mangelmutanten benötigten Wachsfaktoren enthält. Nach Bebrütung wuchsen Kolonien heran. Es war zu vermuten, daß die in einzelnen der Mutterzellen dieser Kolonien durchgeführte Basenveränderung der DNS zu Mutationen geführt hatte, welche diese Mutterzellen zu Mangelmutanten machten. Einzelne der Kolonien sollten daher aus solchen Mangelmutanten bestehen. Um dies zu prüfen, wurde, einer von LEDERBERG eingeführten Technik folgend, mit Hilfe eines sterilen Samtstempels das Koloniemuster der Vollmedienplatte auf eine aus Minimalmedium bestehende Platte übertragen. Auf dieser können Mangelmutanten nicht wachsen. Tatsächlich ergab der Vergleich beider Platten, daß bis zu 2% der auf Minimalmedium gestempelten Kolonien nicht weiter wuchsen. Sie bestanden, wie eine anschließend durchgeführte Prüfung ergab, aus Mangelmutanten. Derartige Versuche erlauben damit, bei Bakterien durch eine an der DNS angreifende chemische Reaktion mit wohlbekanntem Reaktionsmechanismus die in dieser DNS niedergelegte genetische Information zu verändern und dadurch Mutationen zu erzielen.

Der Kreis der Darstellung schließt sich. Sie war davon ausgegangen, daß die Bakteriengenetik ihre Entstehung der Suche nach geeigneten Objekten für mutationsgenetische Forschungen verdanke. Daran anknüpfend waren die drei Hauptformen bakterieller Rekombination, die K12-Rekombination, Transduktion und Transformation, beschrieben und für ihre Anwendung in der bakteriellen Kreuzungsgenetik bezeichnende Beispielen genannt worden. Sie führten zur Frage nach der chemischen Struktur des Baustoffes der Gene. Dieses erwies sich als Desoxyribonucleinsäure, deren spezifischer molekularer Aufbau Träger genetischer Informationen ist. Durch eine chemisch klar überschaubare Reaktion, die Desaminierung mit Hilfe von salpetriger Säure, ließen sich dieser Molekülaufbau und damit gleichzeitig die genetische Wirkung der DNS ändern: es entstanden Mutationen. Damit wird ein Weg erkennbar, den die genetische Forschung zu beschreiten beginnt: Sie wird zur molekularen Genetik und versucht die Spezifität bestimmter an der lebenden Zelle beobachtbarer, erbgebundener Merkmale auf die Spezifität des molekularen Aufbaues von DNS-Molekülen zurückzuführen, deren genetische Wirkung die beobachteten Merkmale bedingt.

Literatur

- ANDERSON, T.U.F.: Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. **23**, 47 (1958).
 AVERY, O.T., C.M. MACLEOD und M. MCCARTY: J. Exp. Med. **79**, 137 (1944).
 HARTMAN, P.E.: Carnegie Inst. Washington Publ., Nr. 612, 36 (1956).
 JACOB, F., und E.L. WOLLMAN: Symp. Society Exp. Biol., London (1957).

- WOLLMAN, E.L., F. JACOB und W. HAYES: Cold Spring Harbor Symp. Quant.Biol. **21** (1956).
- JOHANNSEN, W.: Über Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien. Gustav Fischer, Jena 1903.
- KAUDEWITZ, F.: Z. Naturforsch. **14b**, 528 (1959).
- LEDERBERG, J., und E. M. LEDERBERG: J. Bacteriol. **63**, 399 (1952).
- und E.L. TATUM: Nature **158**, 558 (1946).
- MUNDRY, K.W., und A. GIERER: Z. Vererbl. **89**, 614 (1958).
- PENSO, G.: VI. Intern. Congr. Microbiol., Symp. Interaction of Virus and Cells, pag. 58 (1953).
- SCHUSTER, H., und G. SCHRAMM: Z. Naturforsch. **13b**, 697 (1958).
- ZINDER, N., und J. LEDERBERG: J. Bact. **64**, 679 (1952).

La signification des Galapagos dans l'étude de l'évolution

par

JEAN DORST

Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

Le biologiste a la chance de rencontrer sur le globe quelques lieux privilégiés, où les phénomènes de la vie revêtent une importance toute particulière; telles sont les îles Galapagos, dont le nom à lui seul a une résonance profonde chez tout naturaliste.

On sait que ces îles constituent un archipel au large de la côte pacifique de l'Amérique du Sud, à quelque 600 milles du continent, juste sous l'Equateur. Elles comprennent quelque 13 îles principales, dont 5 relativement grandes, et une vingtaine d'îlots; leur superficie totale est de l'ordre de 7500 km². D'origine purement ignée, les Galapagos forment un appareil volcanique complexe dont la base, un plateau submergé, porte des volcans dont les sommets émergés forment les îles actuelles.

Des variations de niveau intervinrent au cours des âges, ce qui explique les quelques rares dépôts marins pliocènes ou pléistocènes que l'on observe en quelques points des îles (Indefatigable, Albemarle, James). Leur importance est cependant minime et l'on peut dire que les îles sont formées dans leur totalité de matériaux d'origine ignée et principalement de basaltes.

Les Galapagos étaient connues très anciennement des Indiens qui y avaient établi des campements de pêche temporaires, comme l'atteste la découverte de restes archéologiques précolombiens (Thor Heyerdahl). Elles ont été découvertes « officiellement » par l'évêque Tomas de Berlenga, le 10 mars 1535, celui-ci ayant été détourné par les courants marins de la route le menant à Lima. Leur découverte scientifique est cependant beaucoup plus tardive: il faut en effet pratiquement attendre jusqu'à Charles Darwin lui-même. Le génial auteur de « L'Origine des Espèces », dont nous célébrons cette année le centième anniversaire de la sortie de presse, y vint en effet en 1835 au cours de la fameuse croisière du « Beagle »; il décrit ses impressions dans son journal et ce fut sans aucun doute lui qui le premier réalisa l'énorme intérêt de cet archipel pour la compréhension de l'histoire de la Vie.

Les Galapagos sont dans leur ensemble d'une très grande pauvreté. Par suite de conditions océanographiques anormales, sur lesquelles nous

aurons l'occasion de revenir, le climat y est d'une aridité extrême. La végétation, de ce fait même xérophile, comporte principalement des peuplements de Cactées (*Opuntia*, *Cereus*) et de plantes épineuses. Ce n'est que dans les régions montagneuses de quelques-unes des îles les plus élevées que ces xérophytes font place à des peuplements plus denses, et même à une véritable forêt humide comparable aux forêts hygrophiles du continent sud-américain. Ces zones sont cependant très peu étendues, et la plupart des paysages des Galapagos, certains véritablement dantesques, ont l'apparence de vrais déserts: Tomas de Berlenga a dit que c'était comme si Dieu y avait fait pleuvoir des pierres, et Darwin les a comparées aux régions cultivées des Enfers.

Cet archipel désolé est cependant un des hauts lieux de la science en raison des circonstances géologiques, géographiques et climatiques qu'on y rencontre.

Deux théories se sont opposées quant à son origine. Pour certains, les Galapagos ont été reliées à un moment de leur histoire au continent américain; elles représentent les vestiges de terres beaucoup plus vastes, aujourd'hui effondrées sous l'Océan. Pour les autres, ces îles ont une origine purement océanique et n'ont jamais été rattachées à la terre ferme. Cette hypothèse, soutenue entre autres par Darwin, par Wallace et par Agassiz, nous paraît incontestablement la plus plausible et s'accorde parfaitement avec la nature volcanique de ces îles, en même temps qu'avec la composition du peuplement végétal et animal. Les animaux y sont venus soit au vol, soit à la nage, ainsi d'ailleurs qu'à bord de radeaux semblables à ceux que charrient les grands fleuves tropicaux: ces radeaux arrachés aux berges par les courants forment des amas végétaux sur lesquels se tiennent souvent des animaux, même des Vertébrés de taille moyenne; ils sont repris par les courants marins qui les emportent sur de grandes distances.

D'ailleurs, on est en droit de supposer que le continent américain se trouvait autrefois plus près des Galapagos qu'à l'époque actuelle. C'est ce qu'a avancé K. W. Vinton (*Amer. J. Science*, 249 : 356-376, 1951) qui a montré que les crêtes sous-marines visibles sur les cartes hydrographiques, partant de l'Amérique centrale et allant vers l'île Cocos et vers Malpelo, représentent peut-être les vestiges d'une terre disparue, avancée de l'Amérique centrale en direction des Galapagos, aujourd'hui effondrée sous le Pacifique. Ces circonstances auraient par conséquent réduit la largeur du bras de mer isolant les Galapagos, tout en ne le supprimant pas complètement. Notons qu'au Miocène, les Océans Pacifique et Atlantique communiquaient au niveau de l'isthme de Panama; les courants violents qui existaient dans cette région (certains existent encore dans le bassin caraïbe, et vont se briser sur les côtes de l'Amérique centrale) entraînaient sans doute végétaux et animaux en direction des Galapagos qu'ils ont ainsi contribué à peupler. Ces circonstances permettraient d'ailleurs d'expliquer certaines parentés étroites entre les faunes et les flores des Galapagos et des Antilles. L'hypothèse de Vinton, qui ne repose malheureusement sur aucune recherche géologique, mériterait d'être soigneusement vérifiée.

Quoi qu'il en soit, il ne saurait faire de doute pour un zoologiste que les Galapagos sont des îles typiquement *océaniques*, jamais rattachées au continent. Sinon, on ne saurait comment expliquer l'extrême pauvreté de leur faune, qui ne compte aucun Batracien et pour ainsi dire aucun Mammifère : cette classe de Vertébrés n'est représentée aux Galapagos que par une Chauve-souris (*Histiotus*), un Rongeur cricéidé (*Nesorizomys*, apparenté aux *Orizomys* sud-américains) et deux Otariidae. Or ces groupes sont abondamment représentés en Amérique tropicale et les biotopes leur convenant ne manquent pas aux Galapagos. La même pauvreté s'observe parmi les oiseaux qui ne comprennent que 80 espèces environ, y compris les oiseaux de mer, en dépit de facultés de déplacement beaucoup plus grandes ; notons par comparaison que la République de l'Équateur, une des plus petites en superficie de l'Amérique du Sud, ne comporte pas moins de 1500 espèces pour son territoire national, ce qui donne une idée de l'appauvrissement des Galapagos. Les mêmes faits se retrouvent parmi les Invertébrés.

Les animaux et les végétaux des Galapagos témoignent d'affinités très nettes avec l'Amérique tropicale, tantôt avec l'Amérique du Sud, tantôt avec l'Amérique centrale. Aucune affinité ne se manifeste par contre vis-à-vis de l'Océanie, avec laquelle les Galapagos n'ont en commun que des éléments pan-tropicaux banaux.

C'est en tenant compte de ces faits, où interviennent la géologie et l'histoire des Galapagos aux époques antérieures qu'il convient maintenant de voir ce que ces îles peuvent nous apprendre dans le domaine de l'évolution. Car c'est avant tout ce phénomène que l'on vient étudier dans ces îles privilégiées : les Galapagos forment véritablement un laboratoire naturel où l'évolution devient perceptible. Comme l'a dit le botaniste Howell, elles constituent «the Evolution's workshop and showcase».

Les Galapagos présentent une triple importance en ce qui concerne l'évolution.

Elles ont tout d'abord joué le rôle de zone de refuge, du fait de leur éloignement et de l'absence de tout Mammifère compétiteur ou prédateur qui aurait éliminé les animaux d'un type plus archaïque, à l'instar de ce qui s'est passé sur le continent. Le voyageur débarqué sur les côtes des Galapagos a nettement l'impression d'être reporté au Secondaire et de vivre à l'époque des Reptiles. Parmi ces témoins du passé figurent avant tout les Tortues dont le nom espagnol de *Galápagos* se retrouve dans celui des îles. Ces tortues géantes, dont la carapace atteint à elle seule 1,5 m chez les vieux individus, appartiennent au genre *Testudo*, largement répandu par ailleurs, mais dont les espèces de grande taille n'existent plus qu'en deux points du globe, les Galapagos et les Seychelles. Elles étaient beaucoup plus répandues au Tertiaire, comme l'atteste la découverte de restes fossiles aux États-Unis et en Europe, dès l'Eocène, mais surtout pendant le Miocène et le Pliocène.

L'Iguane marin (*Amblyrhynchus cristatus*) est peut-être plus curieux encore. Ce gigantesque reptile atteignant 1,5 m est en effet le seul Saurien actuel strictement inféodé à la mer dont il ne s'écarte jamais ; il se nourrit

d'algues qu'il va cueillir à marée basse, en nageant avec grande aisance grâce à sa queue aplatie transversalement de manière à former un organe natatoire adapté à cette locomotion. Les colonies de cet iguane animent les grèves des Galapagos auxquelles elles donnent une apparence toute particulière.

L'intérieur des terres est habité par un autre Iguane, *Conolophus subcristatus*, lui aussi végétarien strict, qui contribue à donner à la faune des Galapagos un caractère vraiment étrange.

A beaucoup de points de vue ces Reptiles constituent de véritables fossiles vivants conservés dans ces îles à l'abri des révolutions faunistiques du monde. C'est là un des côtés *statiques* de l'évolution, qui, à lui seul, suffirait à justifier l'importance de ces îles aux yeux du biologiste.

Mais il y a plus. Si les Galapagos ont été une zone de refuge, elles ont été également une zone de différenciation. Cette différenciation s'est effectuée en vase clos, à l'abri des grands courants évolutifs du reste du monde. Cela explique la forte proportion d'endémiques que comportent la flore et la faune de cet archipel. Des groupes zoologiques tout entiers sont propres aux Galapagos, en particulier les Pinsons de Darwin (*Geospizidae*) parmi les Oiseaux. Dans tous les groupes représentés dans la faune de ces îles, la proportion des endémiques est très forte; N. Banks (*Proc. Wash. Acad. Sci.* IV : 49-86, 1902), par exemple, signale 57,4 % d'endémiques parmi les Arachnides et A. Stewart (*Proc. Calif. Acad. Sci.* (4) I : 7-288, 1911) 41 % parmi l'ensemble des Cryptogames vasculaires et des Phanérogames.

Les degrés dans la différenciation permettent de mesurer l'ancienneté du peuplement venu du continent américain en vagues successives. C'est ainsi que, parmi les Oiseaux, les *Geospizidae* représentent un apport très ancien; d'autres sont plus récents et ont donné naissance, tantôt à des genres propres aux Galapagos (*Nesomimus*, *Nesopelia*), tantôt simplement à des espèces bien différenciées, mais faisant partie de genres répandus par ailleurs (*Buteo*, *Poecilonetta*, *Larus*, *Asio*, *Myarchus*); d'autres enfin sont des apports très récents qui ne se sont souvent qu'à peine ou pas du tout différenciés par rapport aux formes continentales (*Pyrocephalus*, *Dendroica*, *Ardea*, *Egretta*).

Les Galapagos ont donc constitué dans l'ensemble le théâtre de la différenciation d'une faune très particulière qui a évolué en vase clos à l'abri du reste du monde. Le nombre de souches ancestrales et celui des formes qui en ont dérivé est relativement réduit; cette simplification fait que les lois de l'évolution sont beaucoup plus faciles à mettre en évidence, l'évolution devenant véritablement perceptible. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que Darwin ait été immédiatement frappé par l'énorme importance de ces îles dans l'étude des processus évolutifs, comme il le reconnaît d'ailleurs en disant dès 1837, soit deux ans après son passage aux Galapagos: «En juillet, j'ai ouvert mon premier carnet de notes sur la «transmutation des espèces». J'ai été frappé fortement depuis le dernier mois de mars par le caractère des fossiles sud-américains et par les espèces de l'ar-

chipel des Galapagos. Ces faits (notamment le dernier) sont à l'origine de toutes mes vues.»

Le groupe capital pour l'étude de l'évolution est sans nul doute celui des Pinsons de Darwin, ou Geospizidae. Ces oiseaux sont apparentés aux Fringillidae, surtout aux groupes propres au Nouveau-Monde; mais ils s'en sont différenciés suffisamment pour qu'on en fasse une entité systématique distincte.

Tous les Geospizidae descendent vraisemblablement d'un ancêtre commun, maintenant disparu, mais que les moins évoluées des 14 espèces actuelles rappellent sans doute. Cette souche ancestrale est visiblement arrivée aux Galapagos à une époque où ces îles étaient vierges d'oiseaux terrestres, comme tend à le prouver le fait que ces oiseaux sont à l'heure actuelle les plus «primitifs» de tous les Passereaux, les autres Passereaux étant manifestement des apports récents. Il n'y avait donc ni prédateur capable d'en limiter le nombre, ni compétiteur capable de les évincer ou de les maintenir dans des limites définies. Le stock initial était manifestement granivore comme les Fringillidae dont ils dérivent plus ou moins. Leur nombre augmentant, ils ont alors colonisé d'autres niches écologiques, tout en se transformant. L'évolution ne porte guère sur le plumage, assez uniforme chez la plupart des espèces, mais bien plus sur la forme du bec.

Le plus primitif des Geospizidae actuels semble être une forme granivore au bec assez semblable à celui d'un moineau domestique: *Geospiza difficilis*. A partir d'oiseaux de ce type s'est différencié un phylum où le bec devient de plus en plus globuleux (*G. fortis*, *G. magnirostris*), en relation avec un régime en grande partie granivore. Un autre phylum comporte des oiseaux au bec resté fort et conique, mais nettement plus allongé; les oiseaux de ce type (*G. conirostris*, *G. scandens*) se nourrissent exclusivement des fleurs et des fruits de Cactus, surtout d'*Opuntias*, auxquels ils sont souvent strictement inféodés.

Une différenciation plus marquée s'observe dans une autre lignée, que les systématiciens s'accordent à considérer comme un genre distinct, les *Camarhynchus*, chez qui la coloration du plumage est différente de celle des *Geospiza*. Ces oiseaux, au bec encore globuleux chez les moins évolués, restés végétariens (*crassirostris* par exemple), plus allongé chez les plus évolués devenus insectivores, habitent les zones humides dont ils peuplent les forêts denses (les Anglo-Saxons les appellent «tree-finches»). Ces oiseaux vivent un peu à la manière des Mésanges, aux dépens des insectes vivant sur les branches et parmi le feuillage.

Le plus évolué de toute cette lignée est sans nul doute *Camarhynchus pallidus*, dont la coloration est restée assez banale, mais dont le bec est puissant et allongé. Cet oiseau vit à la manière des Pics, en explorant l'écorce des troncs pour y dénicher les insectes dont il se nourrit. Comme son bec ne présente cependant pas une adaptation aussi poussée, et que sa langue n'est bien entendu pas aussi perfectionnée que celle d'un Pic, il compense cette insuffisance par l'usage d'une brindille ou d'une épine de cactus, dont il s'arme pour extraire ses proies de leurs cachettes. Il pré-

sente donc une particularité éthologique remarquable, étant le seul oiseau à se servir régulièrement d'un outil.

Le Geospizidae le mieux différencié est cependant *Certhidea olivacea*, dont les ancêtres se sont sans doute séparés très anciennement du tronc commun. Cet oiseau au bec fin pourrait être pris au premier abord pour un Sylviidae tant par sa morphologie que par ses mœurs. Il cherche en effet sa nourriture à la manière d'un Pouillot, tout en poussant continuellement des petits cris d'appel. Il y a là une convergence stupéfiante, aussi bien sur le plan morphologique que biologique.

L'ensemble des Geospizidae présente donc un raccourci saisissant de l'évolution des Passereaux : d'une même souche sont en effet sortis des oiseaux mimant ceux appartenant à plusieurs groupes systématiques, par suite d'une *radiation adaptative* ; un phénomène de ce genre s'observe en règle générale chaque fois qu'un groupe zoologique peuple une aire dépourvue de tout compétiteur. De ce fait, la même souche envahit toutes les niches écologiques et se différencie en des lignées multiples, réalisant toutes les potentialités évolutives sans que la sélection naturelle puisse jouer du fait de la compétition avec des groupes mieux armés, adaptés antérieurement. L'influence de ces faits sur la pensée de Darwin est manifeste, car l'importance de la concurrence vitale se vérifie pleinement dans ce cas. Simultanément d'ailleurs le perfectionnement des populations consécutif au morcellement des îles a augmenté les chances d'apparition de races et d'espèces locales. L'évolution des Geospizidae constitue donc un argument de très grand poids en faveur du darwinisme.

On remarquera que des radiations adaptatives du même type se sont produites dans d'autres régions du globe. Les oiseaux offrent un autre exemple classique aux îles Hawaii, avec les Drepanididae, Passereaux endémiques dont l'évolution a provoqué un véritable éclatement de lignées spécialisées, surtout quant à la forme du bec. La même chose vaut pour les Vangidae de Madagascar, famille propre à cette île apparentée aux Laniidae. Mais les Drepanididae et les Vangidae sont sans doute plus évolués, et évolués plus anciennement que les Geospizidae, comme l'atteste entre autres la différenciation plus poussée de chacune des espèces (le bec diffère notamment très largement). L'intérêt des Geospizidae provient précisément du fait que par suite d'une vitesse de différenciation moindre, le groupe présente encore un état plus voisin des premiers stades de l'évolution.

Remarquons par ailleurs qu'aux Galapagos, un groupe de Mollusques présente une radiation adaptative du même type : c'est celui des *Bulimulus*, représentés par 44 espèces, dont certaines sont terrestres, d'autres arboricoles ; dans ce cas aussi, un même type a envahi toutes les niches écologiques et a pu se différencier à l'abri de toute compétition, d'une manière qui rappelle celle des Achatellinidae des îles Hawaï. (W. H. Dall et W. H. Ochsner, Proc. Calif. Acad. Sci. (4) XVII : 141-185, 1928).

Les Galapagos constituent donc un lieu de choix pour l'étude de l'évolution envisagée sous l'aspect *dynamique*. Les Pinsons de Darwin notamment nous dévoilent les secrets de son mécanisme.

Une évolution comparable à celle des Pinsons de Darwin n'est évidemment possible qu'en l'absence de toute compétition, en rapport avec l'insularisation des lignées. Le fait que les souches ancestrales, parvenues fortuitement aux Galapagos, aient pu s'y développer à l'abri du reste du monde, est à l'origine de ce phénomène surtout visible dans des îles, en rapport avec l'isolement géographique. Notons que dans certains cas l'isolement peut être écologique. C'est ainsi qu'un phénomène du même type se produit sur les hauts plateaux des Andes, par suite du « filtrage » des souches par les conditions rigoureuses du milieu andin. On observe de ce fait un appauvrissement considérable de la faune et un « éclatement » des lignées qui ont pu s'établir : c'est ainsi que l'on explique l'évolution de certains Poissons (*Orestias*) et de certains Rongeurs (*Phyllotis*, *Akodon*) propres aux hauts plateaux des Andes.

Mais une évolution encore plus actuelle, contemporaine même, peut être observée aux Galapagos par celui qui étudie les adaptations des animaux à leur milieu : *l'évolution écologique* y est très apparente par suite du nombre relativement réduit des animaux constituant un écosystème simplifié, dans un ensemble de milieux assez complexes, notamment en ce qui concerne le milieu marin.

Les Galapagos jouissent en effet d'une situation océanographique toute particulière, surtout pour une latitude équatoriale. Cette situation, très complexe d'ailleurs, résulte de la présence de courants froids, prolongation vers l'ouest du fameux courant de Humboldt, qui après avoir longé les côtes du Chili et du Pérou, s'infléchit vers l'ouest au niveau de l'Equateur et va baigner les Galapagos. Il y rencontre le contre-courant équatorial, relativement chaud, et des courants chauds venus du nord et du nord-est. Ce mélange produit de nombreux courants locaux, souvent très violents et des différences de température entre des zones rapprochées atteignant parfois 10°. Dans l'ensemble les mers baignant les Galapagos sont froides, leur température étant de l'ordre de 14°. Ce fait a eu de profondes répercussions sur le climat des îles ; à l'instar de ce qui se passe sur la côte péruvienne, le climat y est des plus arides, il ne pleut que pendant trois mois par an, en dehors desquels la sécheresse est extrême. Ce n'est que dans les parties les plus élevées des îles que l'on observe une plus forte humidité.

Les eaux froides permettent par ailleurs à un plancton très abondant de prospérer, et d'être à la base d'une chaîne alimentaire complexe. Les poissons sont abondants, et donnent lieu à une exploitation prospère. Les oiseaux de mer le sont aussi, de même que les Otaries.

Cette situation océanographique est à l'origine de répartitions véritablement paradoxales. C'est ainsi qu'un Manchot (*Spheniscus mendiculus*) a pu remonter des zones antarctiques froides, dont ce groupe d'oiseau (Sphénisciformes) est caractéristique, jusque sous l'Equateur, grâce aux conditions océanographiques. Cet oiseau a manifestement suivi le courant de Humboldt, comme l'atteste la présence de formes faisant partie du même phylum le long des côtes du Chili et du Pérou.

Une faune manifestement «froide» – Manchots, Otaries – se mêle donc à une faune «chaude», dont des Poissons-volants et de nombreux oiseaux tels les Frégates et les Phaëtons, caractéristiques des zones tropicales chaudes. Ces oiseaux cohabitent souvent, mais souvent aussi se répartissent localement «en mosaïque» en fonction des conditions que présente la mer. C'est ainsi que les Manchots se cantonnent aux zones marines les plus froides, dont ils sont de précieux indicateurs.

Ce curieux mélange d'animaux venus de régions froides et chaudes permet d'étudier en détail comment s'effectue l'adaptation des animaux à leur milieu et comment chacun d'entre eux tire profit des conditions rencontrées. Cette évolution écologique, qui a lieu véritablement sous nos yeux, sera encore beaucoup plus apparente quand nous aurons mieux pénétré les secrets de la répartition des Invertébrés tant marins que terrestres des Galapagos.

Notons par ailleurs que ces îles présentent également un exceptionnel intérêt pour l'étude du comportement. Par suite de l'absence de prédateurs – la notion d'ennemi est véritablement absente chez les Vertébrés de ces îles et l'homme n'y est pas craint, en dépit des graves sévices dont il s'est rendu coupable – certains problèmes éthologiques se trouvent simplifiés. Un des aspects les plus intéressants est sans nul doute l'étude des manifestations vocales des Pinsons de Darwin, qui montrent comment le chant devient spécifique dans un groupe avien. Son évolution et sa différenciation selon les espèces révéleront bien des aspects encore ignorés d'une des plus importantes manifestations sociales et sexuelles des animaux.

Les quelques problèmes que nous venons d'évoquer ne représentent bien entendu qu'une faible partie des recherches auxquelles se prêtent les Galapagos. L'évolution peut s'étudier dans ces îles comme nulle part ailleurs dans le monde. Le biologiste – qu'il soit zoologiste ou botaniste – y trouve partout matière à réflexion. Et d'ailleurs le géologue et le pédologue y travaillent avec un égal profit; ce dernier peut en particulier étudier la colonisation des laves par la végétation et leur transformation progressive en même temps que leur dégradation.

De graves menaces pèsent cependant actuellement sur ces îles, qui sont demeurées vierges jusqu'au XVI^e siècle. Leur faune est particulièrement fragile, car elle comprend de nombreux animaux archaïques, incapables de s'adapter et dont aucun ne manifeste la crainte salutaire de l'homme qui a sauvé tant d'animaux dans le monde. Un écosystème aussi simplifié se trouve d'ailleurs toujours dans un état d'équilibre très instable.

Or les hommes qui se sont succédé aux Galapagos y ont commis les pires exactions. Aux corsaires et aux pirates ont succédé des colons recrutés dans les prisons et les régiments mutinés. A l'heure actuelle, les colons qui peuplent les Galapagos sont bien entendu tout différents; mais cette population honnête et sympathique n'est malheureusement pas toujours au courant des questions de conservation de la nature.

La faune a gravement pâti du fait de l'impact de l'homme. Les tortues ont régressé dans une mesure importante par suite de la chasse qu'on

leur a faite pour leur graisse (certains biologistes estiment à 10 millions le nombre de tortues massacrées depuis le XVI^e siècle); certaines espèces ont entièrement disparu et les autres sont dans un état très précaire. Les oiseaux ont de leur côté gravement souffert, certains, comme le Manchot des Galapagos, étant à la veille de leur extinction. La situation de la faune, dans son ensemble, et de la végétation des zones humides est donc véritablement dramatique à l'heure actuelle; nous risquons de voir disparaître un capital inestimable, unique au monde.

Le gouvernement de l'Equateur, de qui dépendent les Galapagos, s'est ému de cette situation, de même que l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et l'UNESCO. A la suite de l'envoi de diverses missions aux Galapagos et des échanges de vues entre l'Equateur et ces organisations internationales, il a été décidé de créer une Fondation internationale qui gèrera une station biologique, appelée «Charles Darwin»; celle-ci aura pour but l'étude de la faune et de la flore des Galapagos et de proposer au gouvernement équatorien les mesures propres à assurer la pérennité d'un capital scientifique intangible. L'Equateur a par ailleurs pris des mesures législatives importantes pour renforcer la protection de la nature.

Cette œuvre internationale, à laquelle collaborent des hommes de toutes nationalités, préservera, nous l'espérons, les Galapagos qui doivent rester un haut lieu de la biologie.