

**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:** 135 (1955)

**Rubrik:** Discours d'introduction du Président annuel et Conférences principales

### **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:** 02.05.2026

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

**A.**

**Partie scientifique**

Discours d'introduction du Président annuel  
et Conférences principales  
Communications faites aux séances de sections

---

**Wissenschaftlicher Teil**

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten  
und Hauptvorträge  
Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

---

**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

ED. GUÉNIAT (Porrentruy)

## L'œuvre scientifique de Jules Thurmann (1804–1855)

Mesdames, Messieurs,

Au nom de la Société jurassienne d'émulation; au nom du Comité d'organisation de cette 135<sup>e</sup> Session, je vous souhaite la plus cordiale bienvenue dans le Jura bernois dont vous entourent, symboliquement, les emblèmes de tous les districts. Je vous remercie de l'honneur que vous faites à notre patrie jurassienne en la choisissant pour y tenir vos importantes assises.

M. le maire de Porrentruy m'a prié de vous exprimer les remerciements chaleureux de la ville qui vous accueille aujourd'hui avec d'autant plus de joie que votre docte Assemblée a lieu 102 ans après la première Session dans l'antique cité des princes-évêques!

C'est en effet les 2, 3 et 4 août 1853 que la Société Helvétique des Sciences Naturelles tint pour la première fois ses assises à Porrentruy, où œuvrait alors l'un des savants les plus illustres de l'époque, JULES THURMANN (fig. 1), chargé de la présidence annuelle. Permettez-moi, Mesdames et Messieurs, de rappeler les grandes lignes de ce qui fut dit, de cette tribune, il y a 102 ans. Un siècle de recul confère au discours d'ouverture de notre illustre prédécesseur un intérêt tout particulier (1).

Celui-ci se plut alors à souligner toute l'importance de la venue, dans le Jura, de la S.H.S.N. A cette époque, en effet, ce coin de terre qui, pendant la Révolution, avait participé à la vie intellectuelle française, était suisse depuis 38 ans à peine. Son identification intellectuelle et morale à la sphère helvétique s'effectuait lentement. «Ses précédents historiques, déclarait THURMANN, ses variations de nationalité, son excentricité, la distance qui sépare ses deux villes principales du chef-lieu, la différence de langue et de mœurs avec celui-ci, le défaut d'un centre intellectuel à l'intérieur, peut-être même, enfin, l'absence d'efforts bien dirigés pour y naturaliser l'esprit suisse, tout a contribué à placer le Jura bernois dans une sorte d'abandon.» (2) Aussi, la venue de la S.H.S.N. dans le Jura fut-elle considérée, à l'époque, comme une manière d'inté-



Fig. 1  
Jules Thurmann, 1804–1855

gration à la vie intellectuelle suisse, ou du moins comme le premier acte fondamental vers celle-ci, ce que THURMANN exprimait en ces termes: «Grâces donc soient rendues au nom du Jura bernois, à la Société Helvétique des Sciences Naturelles de lui avoir, la première, tendu la main de son intelligente fraternité! Sa présence parmi nous fera événement dans notre histoire morale. Elle constatera notre première participation directe à la vie intellectuelle suisse. Elle établira que notre tour est enfin arrivé dans la rotation fédérale. Elle prouvera qu'aussi modeste que soit notre individualité, celle-ci est cependant un fil distinct dans le faisceau helvétique.» (3) Et plus bas, il ajoute: «Elle commencera à révéler aux Juras-siens, trop ignorants de la vie helvétique, l'existence de ressources, de richesses littéraires vers lesquelles ils porteront leur attention, leurs efforts, leur concours.» (4)

Puis THURMANN fit le point de l'avancement des sciences naturelles dans le Jura. Force lui était de reconnaître un certain état d'indigence en la matière, sauf en botanique, en géologie et en paléontologie; nous verrons dans la suite de mon exposé que THURMANN avait lui-même hissé ses disciplines à l'avant-garde. Après quoi, le savant bruntrutain brossa une vaste fresque de la contrée du Jura, en l'étayant sur les idées maîtresses des systèmes scientifiques alors valables. Systèmes à l'élaboration desquels il avait d'ailleurs apporté une très large contribution.

L'éminent géologue et botaniste en appelait à la collaboration et au concours de «nombreux travailleurs»:

«Quiconque s'occupe de consigner les faits exacts, est utile à la science, à son pays, à lui-même. A la science, car, aussi minime que paraisse un fait, il vient trouver sa place dans la statistique, base de toute généralisation, et révèle parfois à lui seul tout un ordre de connaissances.» (5)

Certes, l'appel lancé alors par JULES THURMANN fut entendu, compris et suivi par ses compatriotes. THURMANN est le père spirituel de toute cette lignée de savants dont les noms figurent bien en vedette dans le livre d'or de la patrie jurassienne. Les GRESSLY, les GREPPIN, les CHOFFAT, les ROLLIER, les KOPY, sont d'authentiques disciples du géologue bruntrutain. L'hommage rendu ce matin même par le Comité en fleurissant les tombes de THURMANN, de KOPY, de BOURQUIN, s'adresse à tous ces savants dont les œuvres et les recherches sont une pièce maîtresse de notre patrimoine intellectuel. Comme notre petite patrie jurassienne ne peut retenir dans ses frontières tous ses savants, ceux-ci l'honorèrent fréquemment par leur activité de chercheur ou de professeur dans les universités suisses, dans nos grandes entreprises industrielles, voire à l'étranger. Aujourd'hui même, plusieurs jeunes savants jurassiens œuvrent avec foi dans nos universités ou dans divers instituts de recherches, et s'y distinguent, qui dans l'étude du cancer, qui dans les recherches atomiques. Si la recherche scientifique d'avant-garde est devenue de plus en plus difficile, parce qu'elle est de plus en plus exigeante dans son appareillage et ses installations de base, et parce qu'elle s'oriente nécessairement vers le travail d'équipe, le Jura n'en conserve pas moins quelques

naturalistes et savants qui fouillent son sol et son sous-sol. Aujourd'hui encore ils s'attachent au vaste problème soulevé par THURMANN, c'est-à-dire à l'orographie de nos chaînes jurassiennes où les théories les plus raffinées se révèlent encore riches de contradictions. Ils étudient nos faunes tertiaires et quaternaires, explorent nos cavernes ou se contentent d'observer et d'enregistrer tels événements ou phénomènes relatifs à l'histoire naturelle.

De fait, le bilan de la science jurassienne serait aujourd'hui considérable.

Si les sciences naturelles sont demeurées chez nous à l'honneur, c'est que nous sommes encore imprégnés de l'esprit thurmannique. Cet esprit se reflète dans le recueil que notre Société jurassienne d'émulation, fondée par JULES THURMANN, elle aussi, se plaît à vous offrir. Il est un double hommage :

- à notre père spirituel dans le monde des sciences d'abord, qui, en dépit de la mort, vit parmi nous ;
- à la Société Helvétique des Sciences Naturelles, ensuite, qui nous donne aujourd'hui l'occasion de manifester notre attachement et notre intégration totale à la vie intellectuelle helvétique ; intégration que nous avons symbolisée par la couverture de notre recueil (6), que nous avons voulue rouge et blanche, couleurs helvétiques, afin qu'il prenne place, tel un frère, dans l'actuelle collection de nos « Actes ».

Cependant, Mesdames et Messieurs, votre réunion à Porrentruy coïncide avec le centenaire de la mort de THURMANN, cet événement qui priva notre patrie jurassienne d'une aussi vive lumière et qui la plongea dans un véritable deuil collectif. Ici encore, nous devons vous exprimer notre reconnaissance d'avoir choisi notre cité comme lieu de votre 135<sup>e</sup> Session ; ceci nous permet, en effet, d'apporter à la mémoire de l'illustre savant, « dont la noble figure paraît grandir avec le temps » (7), l'hommage qui lui est dû à tant de titres.

Nous ne saurions mieux nous acquitter de cette haute mission qu'en vous invitant, Mesdames et Messieurs, à une espèce de communion avec ce qui fut la vie et la pensée scientifique de JULES THURMANN, dans lequel on voit à juste titre le fondateur de l'orographie jurassienne et le « précurseur de la phytosociologie moderne et de ses associations » (8).

Nous avons cru bon d'illustrer notre exposé de quelques clichés, ce qui nous permettra d'être plus synthétique et de mieux reconstituer le cadre général de l'activité scientifique du grand géologue bruntrutain.

Et d'abord, qui était THURMANN ? Vous avez sous les yeux, Mesdames et Messieurs, un tableau généalogique de la famille Thurmann, établi d'après une publication de MM. BLÉTRY et JOACHIM, parue dans la « Revue d'Alsace » de 1931 (fig. 2). (9) Vous constatez que jusqu'à la veille de la Révolution française, la famille Thurmann était versée surtout dans le droit, la jurisprudence, le notariat. Cependant, l'insécurité des temps engage Louis-Georges-Ignace Thurmann, en 1794, à rechercher ce que nous appellerions aujourd'hui une « carrière technique ». Admis à

# Généalogie de Jules THURMANN

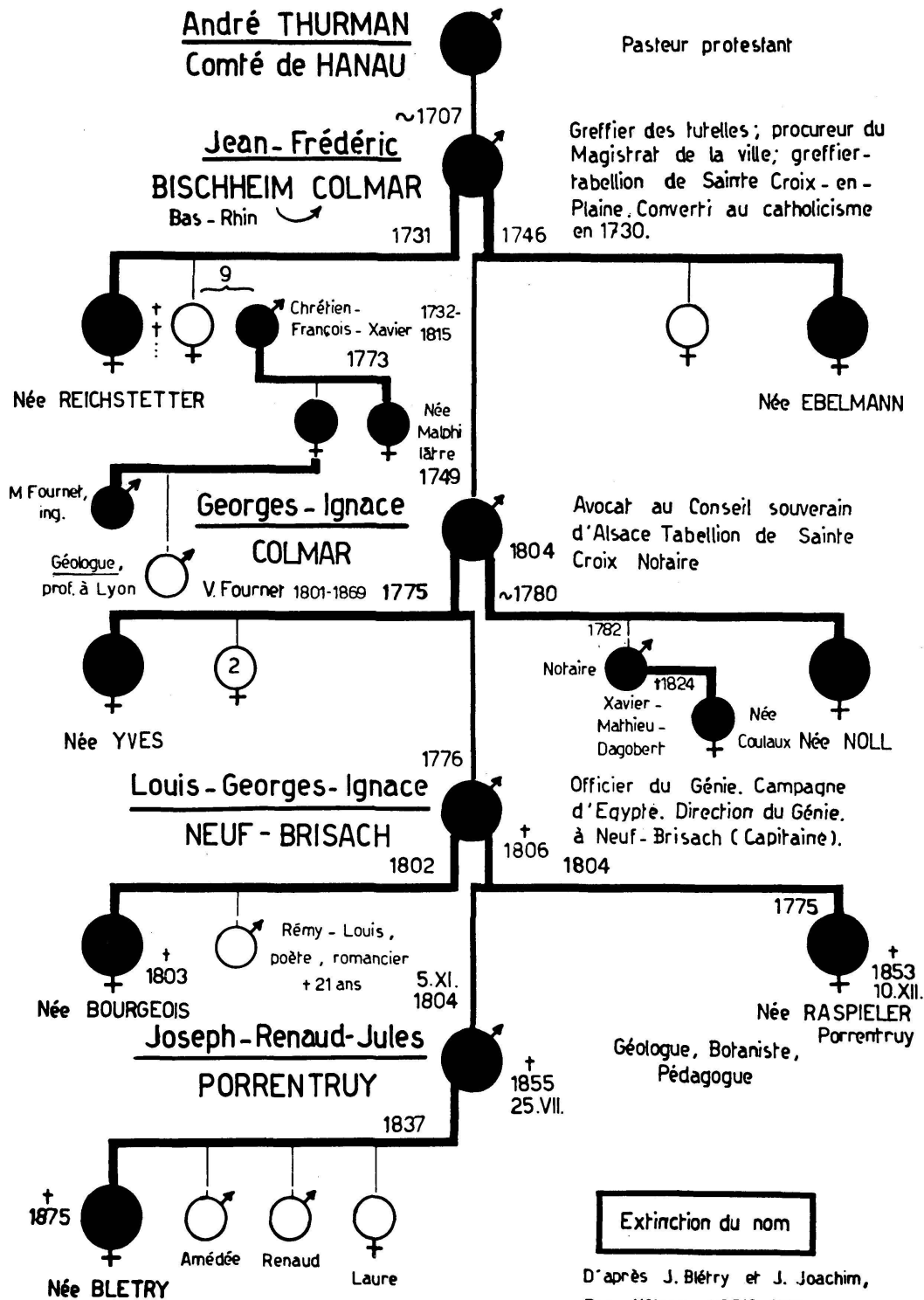


Fig. 2

Généalogie de Jules Thurmman, d'après J. Blétry et J. Joachim, «Revue d'Alsace», N° 510, Colmar 1931

l'École centrale des travaux publics de Strasbourg, celui qui deviendra le père de l'illustre géologue fut bientôt accaparé par l'armée et il entra, en 1795, à l'École du génie de Metz. Il y reçut une formation hâtive et le voilà pris dans le tourbillon de l'épopée napoléonienne, faisant campagne avec l'armée du Rhin, puis celle d'Allemagne, avant d'être incorporé dans l'armée d'Orient. Né sous une bonne étoile, le jeune officier échappera à l'Arabe, à l'Anglais et à la peste. Rapatrié avec les débris de l'armée d'Égypte, et revêtant le grade de capitaine, il sera désigné, le 10 février 1802, comme fonctionnaire à la Direction du génie de Neuf-Brisach.

Grâce aux lettres qu'il écrivit à ses parents, et aux notes qu'il avait consignées et que devait plus tard pieusement conserver et publier son fils, nous connaissons l'extraordinaire épopée du jeune officier du génie qui, de toute évidence, revint d'Égypte auréolé de gloire. Louis-Georges-Ignace Thurmann est le héros de la famille. C'est en 1804 que celui-ci épousa, en secondes noces, à Porrentruy (alors sous-préfecture du Haut-Rhin), Marie-Thérèse Raspieler, née dans cette ville en 1775. Cette femme d'élite, d'une culture raffinée (il convient de le souligner), était fille de Ferdinand-Joseph-Ignace, «jurisconsulte, ex-conseiller aulique du prince-évêque de Bâle, ex-prévôt de Porrentruy, membre du Conseil général du Haut-Rhin» (10).

De ce couple naquit à Neuf-Brisach, le 5 novembre 1804, Joseph-Renaud-Jules Thurmann. Hélas! le jeune foyer, encore une fois, fut brisé, par la mort de son chef cette fois, survenue le 20 février 1806.

Dès lors, la veuve du capitaine Thurmann retourna à Porrentruy, avec son enfant âgé de quinze mois, et se voua totalement à l'éducation de celui-ci.

Et, pour en finir avec la généalogie, signalons que JULES THURMANN épousa à Porrentruy, en 1837, Antoinette Blétry qui lui donna trois enfants: Amédée, Renaud et Laure. Tous trois moururent sans postérité: c'est ainsi que s'éteignit la lignée des Thurmann.

Revenons à l'enfant, confié aux seuls soins maternels: aux soins d'une veuve, revenue à Porrentruy parmi les siens, c'est-à-dire dans un milieu fort imprégné encore du style de vie «ancien régime».

Ce que fut cette femme, cette mère pour le jeune THURMANN, celui-ci le consignera en ces termes, dans une autobiographie écrite pour ses enfants: «Elle fut tout pour moi.» (11) Il reçut d'elle, en effet, non seulement les soins les plus tendres et les plus diligents, mais encore les fondements solides d'une première éducation englobant toutes les notions élémentaires et secondaires «jusqu'à la classe de rhétorique exclusivement» (12). Grammaire française, histoire, chronologie, langues latine et grecque lui furent enseignées par sa mère «de la manière la plus suivie et avec la plus admirable sollicitude» (13).

THURMANN témoignera plus tard de sa piété filiale envers sa mère en élevant sur la tombe de celle-ci un bas-relief très émouvant (fig. 3), où le sculpteur, à la demande du fils, a fixé avec un réel talent le geste plein de sollicitude d'une jeune femme qui «a posé tendrement la main gauche sur



Fig. 3

Tombe de Marie-Thérèse Thurmann, née Raspieler, mère de Jules Thurmann. — Porrentruy, cimetière Saint-Germain.

Photogr. A. Perronne, octobre 1955

l'épaule de son fils et, un livre ouvert sur ses genoux, suit, de l'index de la main droite, le texte qu'elle lui fait épeler» (14).

Le socle qui supporte ce bas-relief porte une inscription latine, que l'historien P.-O. BESSIRE a traduite en ces termes :

«A la mémoire de ma très pieuse mère, Marie-Thérèse Thurmann née Raspieler, qui vécut pendant 78 ans. Son fils et élève, plein d'affliction, lui a fait élever ce monument en 1853.» (15)

L'excellente formation qu'il avait reçue de sa mère lui permit d'entrer d'emblée en rhétorique au Collège de Porrentruy, où il se distinguera en mathématiques.

Vint l'adolescence, le choix d'une vocation, difficultés auxquelles le jeune THURMANN n'échappa point, et que nous révèle, entre les lignes, l'autobiographie.

On imagine sans peine les difficultés d'une maman qui, soucieuse de l'avenir de son fils, se trouve plongée avec celui-ci dans un monde très traditionaliste. Tour à tour on évoque, dans les cercles familiaux, la lignée des Thurmann, juristes aux carrières stables et confortables; les souvenirs héroïques d'un père capitaine, dont l'image est auréolée de la gloire napoléonienne. Ceci explique, du moins en partie, les hésitations de THURMANN dans l'orientation de sa destinée.

Quoi qu'il en soit, au sortir de la classe de rhétorique, mère et fils s'installent à Strasbourg où le jeune homme suit, pendant deux ans, des cours de mathématiques spéciales, en même temps qu'il se prépare, dans un institut, à l'École polytechnique. Comme son père, il décide d'embrasser la carrière du génie. Mais une « crise d'inadaptation », diraient les psychologues modernes, rejette l'étudiant vers les études juridiques auxquelles celui-ci s'adonne durant une année: le voici bachelier ès lettres.

Puis, le pendule d'une incertaine vocation oscille de nouveau vers une carrière technique. En fait, THURMANN n'a renoncé qu'à regret à celle du génie, et il reprend ses études de mathématiques spéciales, sans parvenir, toutefois, à franchir le seuil de l'École polytechnique.

Il entre alors à l'École royale des mines, à Paris, afin de pouvoir utiliser sa formation mathématique; il y suit pendant trois années des cours de minéralogie, de géologie, de chimie, de physique, entrant en contact avec d'éminents savants tels que BERTHIER (1782-1861), DUFRÉNOY (1792-1857), ELIE DE BEAUMONT (1798-1874), BRONGNIARD (1770-1847) dont les idées marqueront plus tard l'œuvre géologique de THURMANN.

Il visite fréquemment le Jardin des plantes. L'étudiant parisien passe régulièrement ses vacances en Suisse et s'y adonne à son goût particulier pour la botanique et la géologie.

Si nous avons insisté sur la formation de THURMANN, c'est pour bien faire comprendre qu'au moment où celui-ci rentrera définitivement en Suisse, il y viendra imprégné de la plus authentique culture française. Celle-ci se traduira notamment par un style limpide aux phrases bien balancées, un souci constant d'une terminologie usant de concepts clairs et bien définis. Scientifique très littéraire, littéraire très scientifique, JULES THURMANN se rattache incontestablement à la belle lignée des savants français de son temps.

A son retour en Suisse, le cadastre était en pleine réorganisation, et cette circonstance l'incita à entrer dans le Génie fédéral. C'est dans cette intention qu'il devint Suisse, achetant, le 14 juillet 1828, soit à 24 ans, la bourgeoisie de Porrentruy.

Adjoint au colonel BUCHWALDER, géomètre de grande classe, collaborateur du général Dufour pour l'élaboration de la carte suisse de l'état-major et auteur, notamment, de la carte du Jura bernois sur laquelle JULES THURMANN plaquera plus tard les couleurs des terrains jurassiques,

il passe un hiver au bureau du cadastre, à Delémont, où il s'enrichit de connaissances pratiques en triangulation, en cartographie.

Puis il entre au service à l'École militaire de Thoune, dans l'arme du génie. De complexion plutôt délicate, menacé d'une affection de poitrine après deux mois de vie militaire, il en vient à douter de pouvoir jamais conduire à chef ses projets. Ceux-ci exigeaient avant tout une bonne santé. C'est qu'il souffrait aussi d'une névralgie faciale et voyait diminuer son acuité visuelle. Autant de circonstances qui l'éloignaient de la carrière d'officier ou de géomètre.

C'est pourquoi, une fois encore, nous le voyons interrompre ce qu'il avait commencé. Soucieux de posséder à fond la langue allemande, il se rend à Constance, chez le professeur DIETZL.

Cette villégiature sur les rives du Bodan eut un effet décisif sur le choix de la carrière du jeune Bruntrutain. Tout en consacrant ses loisirs à la botanique et à l'aquarelle, THURMANN, en effet, se plaisait à traduire en français des mémoires de géologie, ce qui le mit en contact avec certains géologues suisses, dont PETER MERIAN (1795-1883).

Celui-ci venait de publier, notamment, son *Geognostischer Durchschnitt durch das Jura-Gebirge von Basel bis Kestenholz bey Aarwangen, mit Bemerkungen über den Schichtenbau des Jura im Allgemeinen* avec deux planches coloriées, dont une coupe à travers les terrains étudiés qui frappa vivement l'imagination de THURMANN et devint pour lui le leitmotiv de ses méditations. Ainsi s'affirmait, peu à peu, une vocation de naturaliste que les circonstances contribuèrent à faire éclore davantage, semble-t-il, qu'un irrésistible appel. Si bien qu'au printemps 1830, lorsque THURMANN rallia Porrentruy, il portait en lui le projet d'un travail géologique sur le Jura.

Il se mit à parcourir avec ardeur nos montagnes, retirant de ces randonnées, outre les bases de ses futurs travaux, le bénéfice du grand air, non négligeable pour sa santé toujours précaire. Il commença par l'étude des environs immédiats de Porrentruy, où la tectonique offre certains aspects littéralement schématiques; il saisit déjà tout l'intérêt de la région de Derrière-Mont-Terri. Peu à peu, il poussa ses investigations au long et au large de nos chaînes. «C'est dans ces courses, écrit-il, que j'étudiai sérieusement les terrains jurassiques dont, à cette époque, la connaissance était tout à fait dans l'enfance, et que je devinai la structure des soulèvements du Jura, ce qui fut plus tard l'objet d'une publication spéciale. C'était au printemps de 1830.» (16)

Un événement, qui contribua à renforcer chez JULES THURMANN et la vocation et les connaissances, s'insère ici dans cette carrière aux débuts fluctuants. Le jeune savant avait accueilli avec enthousiasme la Révolution de juillet. Il entra en conflit avec sa mère et sa famille que leurs relations avec les anciens Grands-Baillifs protégeaient contre toute atteinte des idées nouvelles.

Ce conflit des générations fut tempéré toutefois par le chagrin qui affectait une mère adorée, et par les circonstances politiques locales. Ces considérations empêchèrent le jeune THURMANN d'aller jusqu'au bout

dans le mouvement politique auquel il s'était rallié. Délaissant alors la petite cité, transformée en un véritable enfer politique, il alla s'établir à Strasbourg, et laissa passer l'orage. Cette attitude, qui n'était pourtant ni celle d'un lâche, ni celle d'un timoré, lui fut souvent reprochée dans la suite. Mais notre géologue, de ce coup, était devenu gibelin pour les guelfes, et guelfe pour les gibelins. On imagine facilement ce que représente pareille situation dans une petite cité divisée en deux camps aussi intransigeants l'un que l'autre!

Or, cette manière d'exil volontaire eut les plus heureux effets sur la carrière de THURMANN. Car il fit la connaissance, à Strasbourg, du géologue VOLTZ qui l'accueillit «comme un père» (17), le forma, pratiquement, dans les collections géologiques du musée, à la paléontologie, science dans laquelle JULES THURMANN se hissa très rapidement à la hauteur du maître, du moins quant à la connaissance des fossiles du jurassique.

Nous croyons avoir suffisamment marqué, par ce qui précède, combien riche était la culture du jeune naturaliste bruntrutain, et solides ses armes, lorsqu'il revint à Porrentruy au printemps de 1831. Cette fois, il se tint à l'écart de la politique et, au lieu de soulever les passions, il va soulever nos montagnes.

C'est, en effet, durant cet été qu'il termine le premier cahier des *Soulèvements jurassiques*. Il l'emporte à Strasbourg, l'hiver suivant, le discute encore avec son maître VOLTZ, et le publie au printemps de 1832, dans les «Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Strasbourg», sous le titre de «Essai sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy; description géognostique de la série jurassique et théorie orographique du soulèvement».

De quoi s'agissait-il? On sait que le géologue bruntrutain, après avoir accumulé, sur les terrains géologiques des environs de Porrentruy, un matériel descriptif littéralement prodigieux, avait édifié un système stratigraphique cohérent. Celui-ci trouvait son expression dans une classification en trois *étages*, subdivisés en quatre groupes, répartis eux-mêmes en seize divisions, le tout se résumant en un *Tableau proportionnel de la série jurassique* qui, pendant longtemps, servira de canevas aux géologues traitant de cette formation. Il fallait maintenant rendre compte de la manière dont les terrains jurassiques, supposés d'abord horizontaux, puisque déposés au fond de la mer secondaire, avaient acquis les «positions redressées» que nous leur connaissons, et dont le modelé topographique des environs de Porrentruy comporte quelques exemples littéralement schématiques.

Or, à l'époque où THURMANN avait fait ses études, d'éminents géologues prêtaient aux phénomènes volcaniques un rôle prépondérant dans la formation des montagnes. L'idée de considérer celles-ci comme des cratères de soulèvement, des volcans avortés, avait alors la puissance d'un dogme. LÉOPOLD DE BUCH, ELIE DE BEAUMONT et tant d'autres en avaient fait la base rationnelle de leurs travaux. Le soulèvement en soi était admis comme un phénomène naturel dit «plutonique» offrant aux

observateurs, écrit THURMANN, «un champ vaste, fertile et non encore moissonné» (18). DE BUCH avait étudié notamment les altérations concomitantes à ces «gigantesques exaltations» et la nature de leurs agents; ELIE DE BEAUMONT avait fait l'historique, l'étude des âges relatifs de ces «vastes phénomènes» et des larges conséquences qui en découlaient. «Un édifice vaste et rationnel, écrivait le géologue bruntrutain, s'élève rapidement sur les ruines des systèmes vieillis en peu de jours», d'où les savants au «génie modérateur» savent écarter avec sagesse les faits ambigus, les assertions douteuses, les théories hasardées.» (19)

Ainsi, par sa formation même, le jeune géologue était imprégné de l'idée du soulèvement. Mais, quand nous cherchons à établir les circonstances qui l'incitèrent à l'appliquer aux voûtes du Jura, pour créer une théorie orographique du soulèvement jurassique, nous nous heurtons, comme toujours en de telles analyses, à bien des obstacles. «La pensée créatrice, écrit PIERRE VENDRYÈS (20), semble insaisissable à celui qui veut la décrire. Les mêmes idées reviennent à plusieurs reprises, lancinantes, mais chaque fois plus riches. Tel est le combat que soutient une grande intelligence aux prises avec une science qui la dépasse encore. Au milieu d'erreurs multiples, des idées apparaissent, qui seront les éléments constitutifs de la science future. Le créateur de tant d'idées ne sait comment faire un choix parmi elles et reconnaître celles qui contiennent vraiment de la réalité; ce choix, c'est par l'intuition qu'on peut le faire. La pensée créatrice est saisie sur le vif.»

Quoi qu'il en soit, il semble que ce soit le travail du géologue bâlois MERIAN, déjà cité, et que THURMANN connaissait bien depuis son séjour à Constance, qui orienta définitivement ce dernier vers sa théorie des soulèvements. PETER MERIAN avait donc étudié le Jura à la lisière des cantons de Bâle et Soleure, sur une zone s'étendant de Bâle à Kestenholtz et passant par Meltingen, le Passwang, Balsthal.

Or, le géologue bâlois qui éprouvait, écrit THURMANN, de «la répugnance à admettre les faux résultats de la théorie des formations répétées» (21) esquisse incontestablement, dans le travail en question, l'ébauche d'une théorie des soulèvements. C'est ainsi qu'il écrit, page 85, «Hebungen von unten... die Hauptursache der Zerrüttung des ursprünglichen Schichtenbaues».

La coupe qui accompagne ce travail frappa vivement THURMANN, déjà, nous le savons, lors de son séjour à Constance, et elle devint pour lui un objet de profonde méditation. Elle révèle, en effet, dans la présence de terrains identiques se répétant dans le même ordre de succession de part et d'autre des voûtes, des symétries frappantes, et donne bien l'image de masses sous-jacentes soulevées, et qui auraient crevé, puis écarté les terrains plus jeunes reposant sur celles-ci. C'est notamment le cas dans la région du Blauen, de Zullwil, du Passwang, ainsi qu'entre Mümliswil et Falkenstein.

Et voici, «saisie sur le vif», l'intuition de THURMANN: «Ayant habité le Jura bernois, l'ayant parcouru en tous sens pour l'étude de la botanique, et étant ainsi déjà de longtemps familiarisé avec les accidents

jurassiques, la coupe de M. MERIAN fut pour moi un vif trait de lumière qui me donna sur-le-champ la clé du dédale où mon imagination avait souvent cherché un fil conducteur.» (22)

Du coup, en effet, le problème de la formation de nos montagnes était ramené, dans l'esprit de THURMANN, aux grandes lignes suivantes (tableau I):

- admettre qu'une force, dont la nature restait à définir, agissant de bas en haut sous la série jurassique, en avait provoqué le soulèvement;
- bâtir ainsi, théoriquement, en faisant varier l'intensité de cette force, des soulèvements de plus en plus prononcés;
- confronter les résultats prévus par la théorie avec les faits observés dans la nature.

Il est à relever que la démarche intellectuelle de THURMANN, ou sa méthode, fut, en l'occurrence, intuitive, dans le sens de la «connaissance d'une vérité évidente (...) qui sert de principe et de fondement au raisonnement discursif, et qui porte non seulement sur les choses, mais sur leurs rapports» (23).

On constatera que l'originalité de la théorie orographique de THURMANN résidait moins dans l'hypothèse du soulèvement que dans l'usage qu'il allait en faire. Si, en effet, les géologues avaient beaucoup écrit sur les soulèvements, ils s'étaient moins occupés de la «comparaison de la figure extérieure des montagnes avec celle qu'elles doivent nous présenter dans l'admission de l'hypothèse» (24).

D'ailleurs, THURMANN donnera au développement de sa théorie l'allure d'une véritable démonstration géométrique.

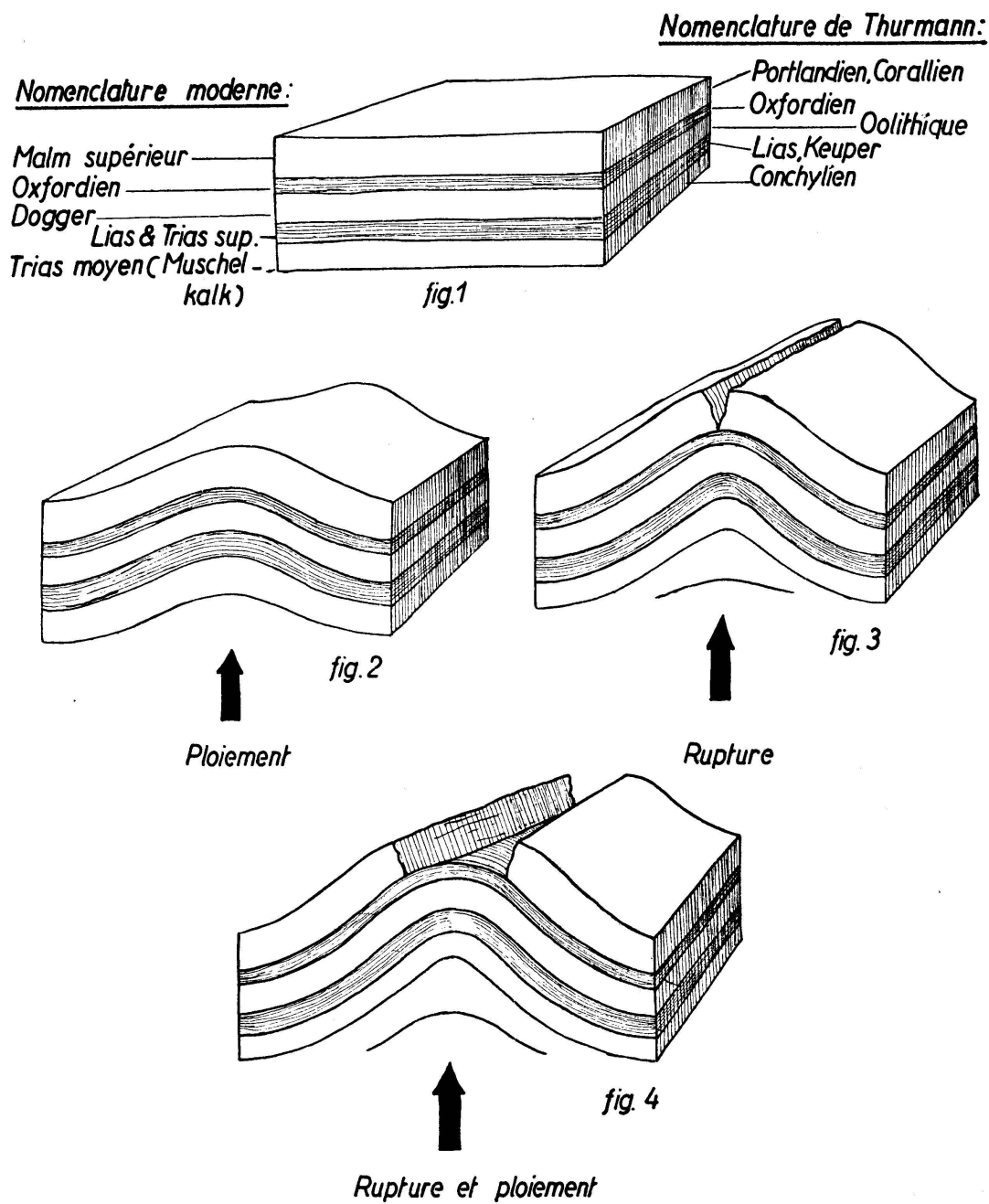
D'abord, le problème est énoncé clairement: «Tout ce que nous avons à faire se borne (donc) à supposer qu'une force agissant de bas en haut a été appliquée à la série des dépôts que nous avons étudiés, et à reconnaître ce qu'il en est advenu.» (25)

Les éléments de la démonstration sont présentés dans le style et la forme propres aux mathématiciens: «L'intensité de l'agent de soulèvement, son mode d'application et la nature de la résistance sont des variables qu'il nous est impossible d'apprécier séparément; mais dont le résultat du soulèvement est nécessairement une fonction.» (26)

Cette fonction ou ce résultat, THURMANN le ramène à trois espèces, à savoir: un ploïement, une rupture, une combinaison de ces deux phénomènes.

Dans le ploïement, toute la série prendra la configuration d'une voûte; la rupture se manifesterà à la surface de la série selon une cassure ou faille. Il y aura rupture et ploïement quand une portion inférieure de la série, affectée par un ploïement, déterminera dans la portion supérieure, une rupture se manifestant superficiellement par une crevasse à bords généralement de même niveau, plus ou moins écartés l'un de l'autre.

Négligeant temporairement certaines données telles que la direction de la force incriminée, l'irrégularité des lignes de rupture, etc., THURMANN recherche la démonstration par évidence: «... nous chercherons à nous



Les éléments de la théorie de Thurmann

Tableau I

Les éléments de la théorie orographique dite «des soulèvements» sont:

- la série des terrains jurassiques avec ses alternances de terrains calcaires très solides et de dépôts marneux ou argileux plus ou moins meubles;
- une force dirigée de bas en haut appliquée sous cette série et susceptible de déformer les terrains par ploiment, rupture ou combinaison de ces deux accidents.

rendre compte, par un figuré graphique, de ce qui aurait lieu théoriquement dans l'admission de l'hypothèse, et nous placerons immédiatement à côté ce que l'on observe dans la nature même, en forme de démonstration par évidence. Nous croyons ce mode de démonstration préférable à une marche théorique, qui nous aurait entraîné dans une foule de détails sans application et se serait entièrement écartée de la méthode naturelle d'invention. Nous nous efforcerons d'exposer les choses avec simplicité et clarté, cherchant à n'appliquer qu'avec sobriété et discernement les principes mathématiquement généraux qui, dans les phénomènes naturels, sont souvent sujets à de nombreuses exceptions» (27).

THURMANN est alors amené à distinguer quatre «ordres de soulèvements» que nous décrirons avec la terminologie moderne (tableau II):

- 1<sup>er</sup> ordre: Ceux qui n'ont fait affleurer que le groupe inférieur du Malm supérieur; ils ont l'aspect de voûtes entières ou brisées. Exemples: Le Banné, la Perche, etc.
- 2<sup>e</sup> ordre: Ceux qui ont fait affleurer l'ensemble des groupes oxfordiens et Dogger. Il en résulte une montagne formée d'une voûte de Dogger flanquée de deux massifs de Malm, terminés par des crêts de Malm, et interceptant deux combes oxfordiennes. Exemple: Chaîne du Lomont, les Chaignons, etc.
- 3<sup>e</sup> ordre: Ceux qui ont fait affleurer l'ensemble des terrains liasiques et le Trias supérieur. Il en résulte une montagne présentant les mêmes éléments symétriques que dans l'ordre précédent, mais la voûte de Dogger y a subi une rupture ouvrant une combe liaso-keupérienne dominée par deux crêts de Dogger. Exemple: Mont-Terri.
- 4<sup>e</sup> ordre: Ils font surgir, du fond de la combe liaso-keupérienne, une voûte de Trias moyen ou Muschelkalk bordée de deux combes liaso-keupériennes. Exemple: Meltingen (Soleure).

Le moment est venu de jeter un coup d'œil sur les lieux qui inspirèrent à THURMANN sa théorie géniale:

- les environs immédiats de Porrentruy (fig. 4), avec le Banné, la Perche, le Cras d'Hermont, autant de soulèvements du premier ordre; à l'arrière-plan, la chaîne du Mont-Terrible;
- cette chaîne (fig. 5), véritable «banc d'essai» de la théorie des soulèvements où elle se révéla un système bien étayé où l'ordre rationnel s'accommodait de façon idéale aux faits;
- région de Derrière-Mont-Terri (fig. 6), avec la combe liaso-keupérienne, le fronton du camp de Jules César, soulèvement du 3<sup>e</sup> ordre typique.

Ainsi, une science était née, l'orographie jurassique. Pour la première fois, la montagne du Jura paraissait assujettie à des lois régulières et déterminables, sinon déterminées. Les faits observés, interprétés théoriquement, tenaient en des schémas précis; telle, par exemple, la série de coupes du Mont-Terrible, dont l'une, celle de la région de Derrière-Mont-Terri, est célèbre.

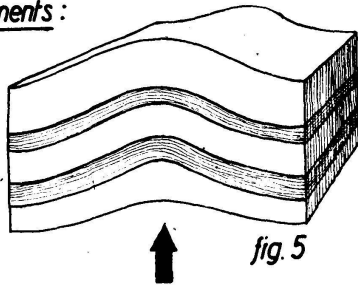
Le premier cahier des «Soulèvements» eut un immense retentissement. «Comme, bien que peu étendu, écrit THURMANN (28), il renfermait

Théorie orographique des soulèvements

Ordres des soulèvements :

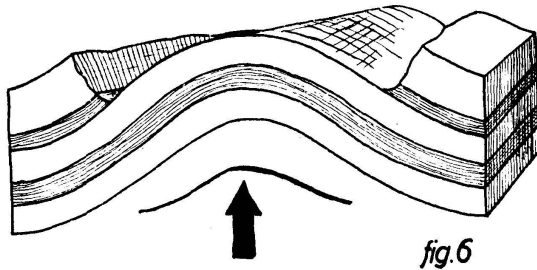
Types :

1<sup>er</sup>



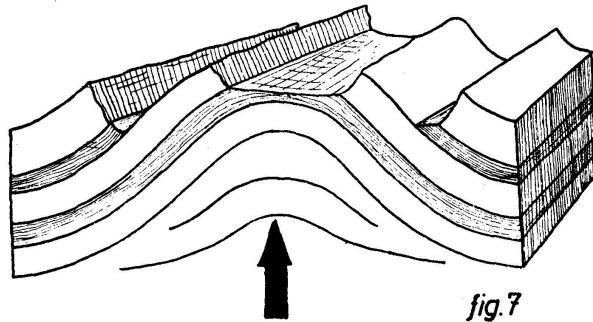
Barné, Perche, Ermont  
Montagne de Verres

2<sup>e</sup>



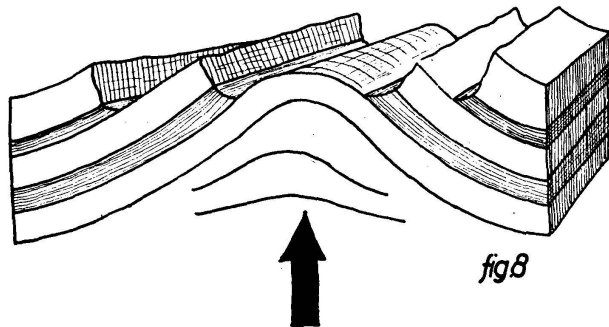
Chaîne du Lomont, aux  
Chaignons  
Chaîne des Rangiers, entre  
Rangiers et Vorbourg, etc.

3<sup>e</sup>



Mont - Terri  
Chaîne des Rangiers,  
à Bärschwil, etc.

4<sup>e</sup>



Mellingen (Soleure)

Tableau II

Théorie orographique des soulèvements.

En combinant les ruptures et les ploiements avec la solidité et la fragilité des roches, Thurmann put classer les chaînes du Jura bernois en quatre « ordres de soulèvements ».

des données nouvelles et importantes, il fut accueilli avec une faveur générale par la presse scientifique, tant allemande que française, et me mit immédiatement en relation avec tous les géologues de l'époque.» De fait, âgé de 28 ans, THURMANN se hissait d'un coup d'aile au rang d'un maître, du chef incontesté d'une école, du premier dans l'orographie jurassienne. Et, à l'instar de lord Byron, il eût peut dire: «Je me réveillai un matin et me trouvai célèbre.»

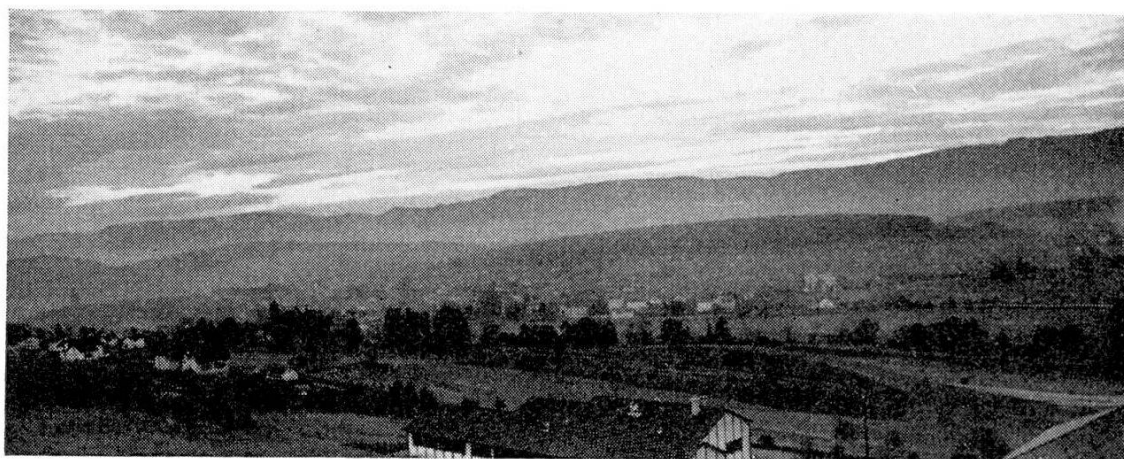


Fig. 4

Les environs immédiats de Porrentruy furent le berceau de la théorie orographique des soulèvements. Les collines sises au sud de la ville sont, de droite à gauche: le Banné (depuis Thurmann, les «couches du Banné» sont célèbres en géologie, notamment comme station fossilifère), la Perche, le Cras d'Hermont; elles furent considérées par Thurmann comme des soulèvements du premier ordre. Au fond, la chaîne du Mont-Terrible, dernière chaîne du nord du Jura.

Photogr. A. Perronne, octobre 1955

En son honneur, et quinze ans avant la Société Helvétique des Sciences Naturelles, la Société géologique de France se réunit à Porrentruy, sous l'égide de l'éminent géologue bruntrutain. D'ailleurs, et c'est assez dire, DE MARGERIE dédiera «à la mémoire de JULES THURMANN, fondateur de l'orographie jurassienne», son puissant volume «Le Jura, première partie, Bibliographie sommaire du Jura français et suisse».

Le second cahier, publié à Porrentruy en 1836, avec «la carte orographique et géologique des soulèvements du Jura», tendait à démontrer que la théorie orographique exposée en 1832 valait pour toute la chaîne du Jura; son succès ne le céda en rien à celui de la première publication.

Bientôt cependant, les acquisitions nouvelles de la science ébranlèrent le bel édifice de la théorie des soulèvements. Certes, elle avait permis une interprétation élégante des faits connus de son auteur dans la région «du Porrentruy», mais elle fut mise en défaut lorsqu'on tenta de l'appliquer à l'ensemble de la chaîne du Jura, autrement dit, de la généraliser.

Quelle fut l'attitude de THURMANN lorsqu'il sentit sa théorie devenir caduque ?

Si l'histoire des sciences nous présente certains exemples de savants qui, figés dans un système, ne surent évoluer, elle enregistre en revanche, avec THURMANN, un exemple de cette «souveraine élégance» (ce «fair play», comme on dit en langage sportif) avec laquelle, convaincu d'erreur, le savant non seulement rend les armes à la vérité, mais encore se met à son service; comme le fait, par exemple, KIRWAN, écrivant en 1791 à LAVOISIER: «Enfin, je mets bas les armes... je donnerai moi-même une réfutation de mon *Essai sur le phlogistique*. (29)



Fig. 5

Vue d'avion de la chaîne du Mont-Terrible, qui inspira à Thurmann sa théorie orographique et où il distingua des soulèvements du deuxième et du troisième ordre. Porrentruy se situe hors du champ, à gauche. Dans l'ombre, à l'angle droit, la vallée du Doubs et le Clos-du-Doubs. Plus haut, Saint-Ursanne et le viaduc. — Au premier plan, le village de Seleute, dans la combe oxfordienne. La partie claire, à gauche, est l'extrémité est de la vallée de Porrentruy. A sa droite, la combe liaso-keupérienne de Derrière-Mont-Terri. Cette chaîne, et surtout la région de Derrière-Mont-Terri (voir fig. 6) a été le «banc d'essai» de la théorie de Thurmann.

Photogr. A. Perronne, janvier 1950

Il faut dire que THURMANN avait fait, dès l'abord, une prudente réserve quant à la direction de l'«agent soulevant»; d'autre part, il s'était bien gardé de faire de sa théorie une fin en soi, et semait, disait-il, «ces idées plutôt pour rattacher l'examen positif des accidents orographiques à un principe qui en facilite l'exposé, que comme vraie cause de leur manière d'être» (30).

Pareille disposition d'esprit lui permit d'évoluer dans sa façon de concevoir la formation de nos montagnes, et c'est là encore un bel aspect de cette intelligence souple et nuancée. Car, dit Montaigne, «se r'adviser, et se corriger, abandonner un mauvais party... ce sont qualités rares, fortes et philosophiques».

Vingt et un ans après la publication de l'*Essai sur les soulèvements* THURMANN présentait à la Société Helvétique des Sciences Naturelles, en session à Porrentruy, son *Résumé des lois orographiques des Mont-Jura* (31), qui est le premier aperçu général de toute la chaîne jurassique.

La séance de la Section de minéralogie et géologie, présidée par P. MERIAN, eut lieu dans le cabinet de minéralogie installé au premier étage du Collège (actuellement Ecole normale), où il avait été créé, en 1832, par les soins d'ANTOINE BÉCHAUX et de THURMANN (fig. 7).

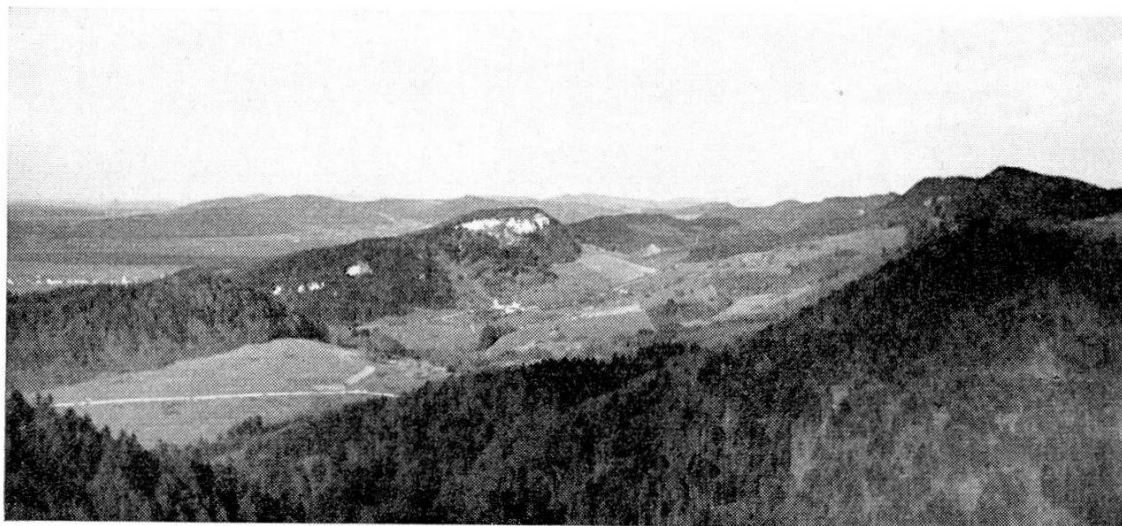


Fig. 6

Combe liaso-keupérienne de Derrière-Mont-Terri. Le fronton rocheux, dit camp de Jules César, est le Dogger; à son pied, la ferme de Derrière-Mont-Terri. Vis-à-vis du camp, à droite, son homologue, soit la crête de Montgremay (Dogger). A gauche, le village de Cornol. Entre ce dernier et le camp s'étagent sur le flanc de la montagne, les terrains supérieurs: Oxfordien, Rauracien, Séquanien, dont les homologues se situent sur le flanc sud de la montagne, à droite de Montgremay.

Photogr. A. Perronne, octobre 1955

Le «Résumé», dont THURMANN se plaisait à dire qu'il représentait ce «qu'il avait fait de mieux en géologie» (32) devait servir de prodrome à une «Nouvelle orographie jurassique».

Il y condensait, en douze pages, les résultats de ses travaux, le fruit de ses méditations et les données puisées dans les publications de tous les géologues et observateurs qui, à son exemple, avaient œuvré dans la géologie jurassique. En ce local, il avait étalé sous les yeux de ses auditeurs un assemblage des cartes de l'état-major français de 2 m sur 3 m (qui n'a, hélas, jamais été retrouvé); un croquis d'ensemble de la chaîne et une série de 20 coupes orographiques exécutées dans toutes les régions du Jura.

Dans l'exposé qu'il fit à ses collègues, il rappela la structure des chaînes jurassiques et montra qu'on pouvait donner une idée orographique de chacune d'elles «par une diagnose au moyen d'une nomenclature convenue» (33). S'élevant ensuite aux plus hautes généralités, il croyait

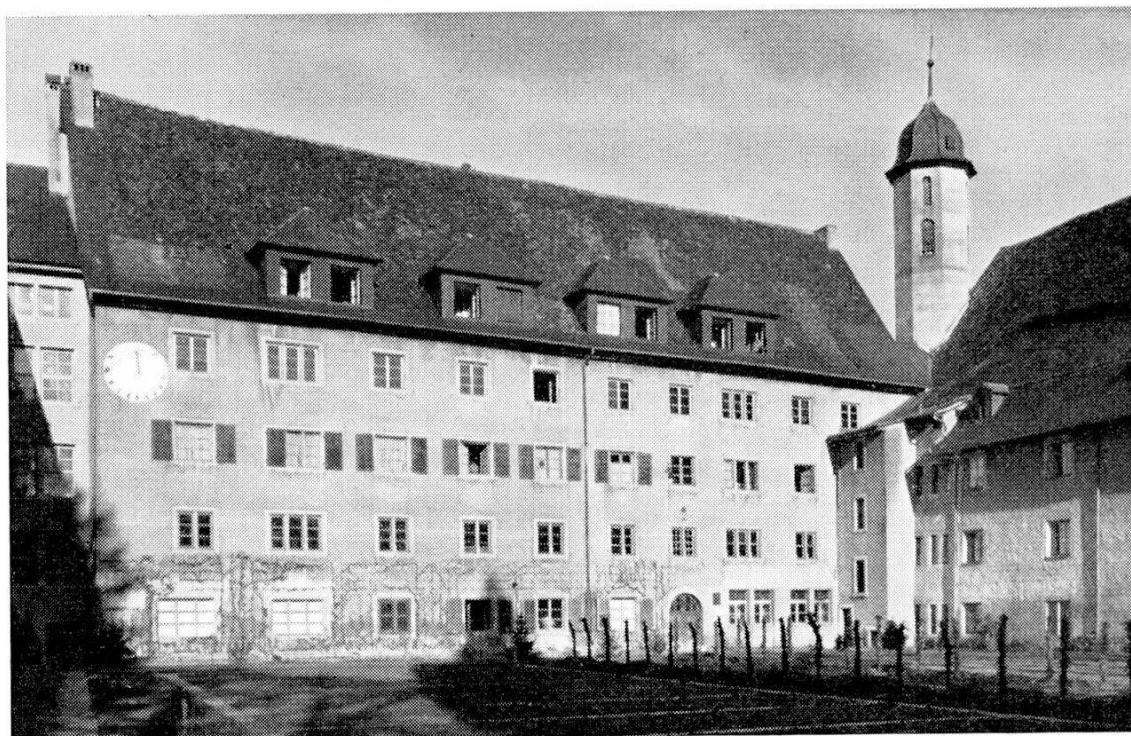


Fig. 7

Façade sud de l'ancien Collège des Jésuites, l'un des bâtiments du complexe construit à Porrentruy de 1597 à 1604 par le prince-évêque Christophe de Blarer de Wartensee. Depuis 1837, ce bâtiment est occupé partiellement par l'Ecole normale des instituteurs du Jura, dont Thurmann fut le premier directeur, assumant cette fonction de 1837 à 1843. Au premier étage, les cinq premières fenêtres (de gauche à droite) sont celles du Cabinet de minéralogie créé en 1832 par A. Béchaux et J. Thurmann. Ces locaux hébergèrent aussi, plus tard, les célèbres collections paléontologiques de F. Koby. C'est là que Thurmann exposa son «Résumé des lois orographiques des Monts-Jura», le 3 août 1853, lors de la 38<sup>e</sup> Session de la S.H.S.N., devant la Section de minéralogie et géologie alors présidée par P. Merian, et qu'il renversa sa propre théorie des soulèvements. Sous la deuxième et la troisième fenêtre, depuis la gauche, se trouvent les plaques commémoratives du Congrès de la Société géologique de France (2 au 12 septembre 1838) et de la 38<sup>e</sup> Session de la S.H.S.N., du 2 au 4 août 1853, que présida J. Thurmann. Devant l'édifice s'étend le Jardin botanique de l'Ecole cantonale, récemment transformé, descendant du jardin de l'ancien Collège de Porrentruy et du Jardin des plantes de l'Ecole centrale, jardin que J. Thurmann et le botaniste Friche-Joset avaient rénové de 1833 à 1835. Depuis 1955, les musées ont partiellement cédé la place à des classes de l'Ecole cantonale. Photogr. A. Kuster, Porrentruy, janvier 1956

pouvoir dégager 22 lois générales applicables aux chaînes du Jura. Mais des faits nouveaux, dont notamment cette constatation que plusieurs chaînes semblent se déverser vers l'ouest, donnant lieu à une lèvre prédominante, dans un sens déterminé, qu'il appelle regard; ou sont affectées d'un déjettement, l'obligent à abandonner l'idée des soulèvements, et l'on chercherait en vain ce terme dans le «Résumé».

Silence éloquent! La théorie des soulèvements avait vécu. Mais, cette page tournée par son auteur même, THURMANN inaugurerait le nouveau chapitre de notre histoire orographique en constatant que certaines

chaînes «naissent latéralement de précédentes, comme un pli né à côté d'un autre» (34), et en concluant «que l'ensemble des lois exposées conduit à éliminer toute action soulevante appliquée verticalement, soit selon des lignes, soit marchant le long de celles-ci dans un sens déterminé» (35), et qu'au contraire, tous les faits «s'interprètent en tous points par l'hypothèse d'une action latérale procédant du côté suisse vers le côté français sur des massifs faillés et avec le concours de grands agents d'ablation» (36). Quoi de plus noble que cette autoréfutation ?

Or, si THURMANN revenait parmi nous, il constaterait que les grandes lignes descriptives de son orographie jurassique étaient justes; il y retrouverait maintes traces de sa terminologie. Il verrait que le problème de la formation du Jura — son problème — n'est pas encore définitivement compris, ni résolu. Les géologues modernes sont portés à admettre que la masse des sédiments du Jura «s'est décollée de son substratum rigide de roches cristallines, a glissé sur lui et s'est plissée indépendamment de lui» (37), en tendant à remplir, d'une part, la dépression qui sépare le Massif central d'avec les Vosges, et, d'autre part, la fosse du Rhin, entre les Vosges et la Forêt-Noire. Et THURMANN devinerait aisément que ce sont les marnes et les argiles du Muschelkalk moyen, «éminemment malléables, fonctionnant en quelque sorte comme lubrifiant, qui ont permis le mouvement» (38). Mais ce mouvement, qui l'a provoqué, qui l'a entretenu ? Quelle est donc la nature et la direction de l'agent dynamique responsable de ces déplacements gigantesques ? Où en est le moteur ? Sur ce point, je crois que notre grand géologue jurassien trouverait ses confrères en pleine discussion : poussée alpine, disent les uns, pesanteur, soutiennent les autres. A ce propos, THURMANN se verrait cité deux fois dans une étude assez récente de MAURICE LUGEON (39), dans laquelle ce dernier ouvre à nouveau la discussion sur l'origine même du Jura. Sans doute prendrait-il connaissance avec intérêt des observations aérotectoniques en contradiction avec les théories actuelles sur la formation du Jura, publiées aujourd'hui même dans le «Recueil» qui vous est offert, et dues à la sagacité de M. ALBERT PERRONNE, docteur ès sciences, qui, délié des écoles, vole, voit, observe et relève ce qui ne joue pas (40).

Nous avons analysé l'œuvre de THURMANN géologue; on sait que ce savant fit preuve du même esprit créateur dans son *Essai de phytostatique appliqué au Jura et aux contrées voisines*, œuvre maîtresse publiée à Berne, en 1849, dans laquelle on s'accorde à voir le premier traité vraiment moderne de géographie botanique.

Il est plus difficile de dégager l'idée maîtresse exposée dans ces deux puissants volumes, totalisant quelque 800 pages, qu'à travers l'œuvre du géologue.

On sait que la botanique s'était attachée, depuis la Renaissance, à la description des espèces, à la recherche des plantes rares. Longue et laborieuse époque que celle qui voyait dans l'herbier l'essentiel de la botanique; elle s'étend jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, où l'exploration botanique du Jura se poursuit activement avec DE HALLER, GIROD-CHANTRANS, DE CANDOLLE, GAGNEBIN, dont THURMANN écrira une remarquable bio-

graphie. Le XIX<sup>e</sup> siècle verra la publication d'innombrables catalogues, flores, énumérations, prodromes, guides, autant d'inventaires des richesses floristiques locales, régionales, de précisions sur les localités intéressantes : d'où la géographie botanique, illustrée par GODET, pour le Jura neuchâtelais ; BLANCHET, RAPIN, REUTER, pour les chaînes jurassiques vaudoises ou des environs de Genève.

Par l'étude de la fréquence des espèces, de la diversité de leur répartition, de leurs différents modes de vie en commun, on passe à celle des associations végétales ; on créait ainsi une phytosociologie.

THURMANN, cependant, dépassera ce stade en se risquant à une tentative *d'études des raisons du mode d'association des plantes*.

Très versé en botanique, il avait relevé avec soin, dès ses premiers travaux, la liste des plantes « propres à caractériser les accidents orographiques qu'il signale » (41) et ce n'est pas la moindre surprise du lecteur des « Soulèvements » que d'y rencontrer des listes de plantes destinées à caractériser les combes oxfordiennes, keupériennes, etc., désignées en tant que stations phytographiques.

L'idée d'une cartographie de la végétation est même présente dans les « Soulèvements », 1<sup>er</sup> cahier, où nous lisons, p. 81, que les modifications de la végétation constatées sont intimement « liées à un vaste système, qui nous donne les lois de leurs positions en leur assignant des limites déterminées » ; et qu'il est intéressant de voir « comment les couleurs que l'on choisirait pour colorier botaniquement la carte du Jura moyen, d'après ces ensembles, fourniraient en même temps l'expression des accidents orographiques et des affleurements géognostiques ».

En 1848, il publie, à Porrentruy, une *Énumération des plantes vasculaires du district de Porrentruy*, et, l'année suivante, son magistral *Essai de phytostatique appliqué à la chaîne du Jura et aux contrées voisines*.

Essayons de dégager la ligne générale, la charpente de cette œuvre immense.

Le terme de « phytostatique », déjà utilisé par quelques observateurs avant THURMANN, englobe, dans l'esprit de ce dernier, l'étude des faits de dispersion végétale « et les met en rapport avec leurs causes » (42).

L'originalité de la phytostatique réside donc en ce que son auteur entend rechercher les raisons, les causes de l'association végétale. Pour THURMANN, la « phytostatique » se confond avec la « situation » dans laquelle vit la plante ; et cette situation est la résultante d'une foule de facteurs dont il reconnaît d'emblée l'extrême complication.

Parmi ces facteurs, il y a d'abord tout le milieu biologique de la plante considérée, auquel appartiennent au premier chef les plantes avoisinantes.

Différenciant nettement la flore de la végétation, il estime que l'étude de cette dernière exige

- la connaissance des espèces ;
- celle de leurs stations ;
- celle de leur répartition ou dispersion ;
- celle de leur habitation (= des localités géographiques).

De tous ces éléments, c'est la *station* qui lui apparaît jouer le rôle le plus déterminant; celle-ci est conditionnée par un grand nombre d'éléments dont les combinaisons connaissent un haut degré d'intrication.

Néanmoins, THURMANN estime pouvoir ramener ces éléments à l'action réciproque du climat et du sol; ces différents facteurs seront étudiés sur la base d'une documentation littéralement prodigieuse, mais quelque peu unilatérale. Unilatérale, parce que JULES THURMANN, géolo-

Classification générale des terrains sous le rapport de leur mode de désagrégation mécanique.

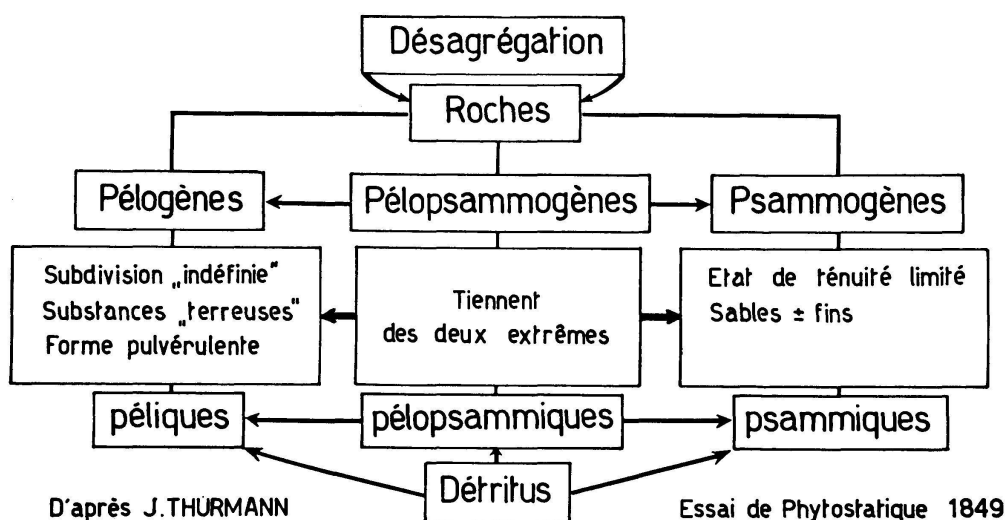


Fig. 8

Classification générale des terrains sous le rapport de leur mode de désagrégation mécanique. Ce tableau est une synthèse des idées de Thurmann qui servirent de fondement à sa théorie physique des sols. Le mode de désagrégation des roches conduit à des sols dont l'état de division mécanique est déterminant pour la végétation qui s'y installera.

gue de formation, et très peu chimiste (il faut le reconnaître), va s'attacher, j'allais presque dire s'acharner à démontrer que le facteur essentiel de la dispersion végétale réside, à *climat égal*, dans les propriétés mécaniques des roches sous-jacentes quant à leur mode de désagrégation, leurs détritiques, et non quant à leur nature chimique. Autrement dit, THURMANN échafaudait une *théorie physique des sols* et classait les terrains selon leur mode de désagrégation mécanique (fig. 8). Il développait ainsi une idée de l'illustre DE CANDOLLE, exprimée en ces termes par ce maître: «Chaque nature de roche a un certain degré de ténacité et une certaine disposition à se déliter ou à se pulvériser; de là résulte la facilité plus ou moins grande de certains terrains à être formés de sables ou de graviers, et à être composés de fragments de grandeur et de forme à peu près déterminées. Certains végétaux peuvent préférer tel ou tel de ces sables

ou de ces graviers, mais la nature proprement dite de la roche n'agit ici que médiatement.» (43)

THURMANN divise donc les roches en *pélogènes* et en *psammogènes* selon que leur désagrégation donne naissance à une poussière plus ou moins terreuse ou à des sables plus ou moins divisés. Les roches qui participent à la fois de ces deux modes de désagrégation portent le nom de *pélo-psammogènes*. Leurs détritits sont appelés respectivement péliques,

Tableau synoptique de la classification des roches selon

D'après J. THURMANN leurs produits de désagrégation Essai de Phytostatique 1849

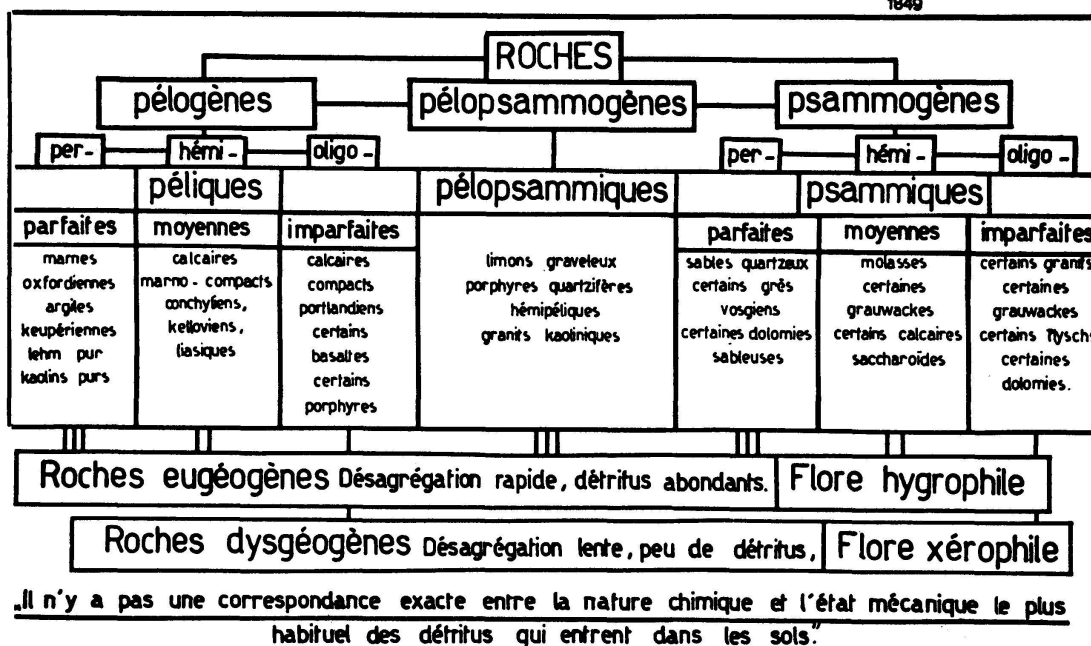


Fig. 9

Tableau synoptique de la classification des roches selon leurs produits de désagrégation. Les roches de la contrée étudiée par Thurmann dans la «Phytostatique» peuvent être classées selon leurs produits de désagrégation; les associations végétales correspondent, dans les grandes lignes, à deux catégories de roches: les roches *eugéogènes*, supportant les associations *hygrophiles*, et les roches *dysgéogènes* supportant les associations *xérophiles*. Cela en dehors de toute influence chimique, affirmait Thurmann.

psammiques et pélo-psammiques. Il est à relever que ces termes ont été choisis afin qu'ils n'évoquent aucune idée de composition chimique!

Les roches péliques et psammiques peuvent l'être à divers degrés (fig. 9); d'où les sous-classes de per-péliques, hémi-péliques, oligo-péliques; per-psammiques, hémi-psammiques, oligo-psammiques (les pélo-psammiques ne subissant naturellement pas cette subdivision), puis la mise en place des diverses roches dans les cases ainsi constituées: marnes oxfordiennes, argiles keupériennes, etc., *per-péliques*; calcaires marno-compacts conchyliens, kelloviens, liasiques, etc., *hémi-péliques*, etc.

Selon la facilité avec laquelle les roches se décomposent, THURMANN distinguait les *eugéogènes*, dont la décomposition est rapide et les détritits abondants, des *dysgéogènes* à désagrégation lente et qui ne laissent qu'un faible détritit.

Les roches sous-jacentes sont ensuite étudiées sous le rapport de leur perméabilité, de leur hygroscopicité et d'autres propriétés physiques. Signalons que THURMANN a parfois recours à l'expérimentation directe. Il disserte également sur la conductibilité calorifique et la couleur du substrat minéral des sols. Cette partie de l'œuvre est étayée sur une foule de chiffres, tableaux, mesures, etc.

Après une étude poussée des climats et des zones d'altitude de la contrée faisant l'objet de la phytostatique, et une analyse de la flore de celle-ci, qui le conduit à distinguer des catégories «d'espèces contrastantes», THURMANN croit pouvoir négliger la plupart des facteurs et, à climat égal, plaquer sur chacune des catégories de roches, une flore spéciale. Il appelle *flore hygrophile* celle des terrains eugéogènes, et *xérophile* celle des terrains dysgéogènes.

La flore hygrophile se localise essentiellement sur les terrains péliques, hémi-péliques, pélo-psammiques, per-psammiques et hémi-psammiques; la *xérophile* végète sur les roches oligopéliques et oligopsammiques. Toutes ces données trouvent leur expression synthétique et comparative dans un *Tableau général des facteurs de dispersion dans les diverses parties de la contrée* qui est la clé de la phytostatique et dénote, chez son auteur, une capacité de synthèse peu ordinaire (voir «Essai de Phytostatique», vol. I, p. 275).

Ce tableau nous révèle d'abord l'étendue de la contrée étudiée: Jura, Albe, collines lorraines; Kaiserstuhl; Vosges, Schwarzwald, Préalpes, Côte-d'Or et Serre cristallines; vallées du Rhin, de la Saône, du Neckar (Bas-) et plaine lorraine; bassin suisse et vallée sarde.

Nature chimique, désagrégation mécanique, hygroscopicité, perméabilité et siccité des roches sous-jacentes sont confrontées, de même que les caractères physiques des sols et la répartition des végétations xérophiles, hygrophiles péliques, hygrophiles psammiques. Enfin, le tableau fait ressortir la similitude ou la différence de la dispersion relativement au Jura.

L'examen attentif du tableau montre

- 1) la ressemblance, dans la végétation, ou la dispersion des espèces contrastantes, entre tous les districts reposant sur des roches dysgéogènes, en dépit de différences chimiques. Par exemple, la végétation est xérophile aussi bien dans le Jura, l'Albe et les collines lorraines (roches calcaires) que dans le Kaiserstuhl pourtant silicéo-alumineux, etc.;
- 2) la ressemblance entre les districts qui ont pour base des roches eugéogènes;
- 3) la dissemblance entre la végétation de ces deux groupes, donc une *correspondance rigoureuse des xérophiles aux terrains dysgéogènes, et des hygrophiles aux terrains eugéogènes*;

- 4) que l'identité de la composition chimique n'entraîne aucune identité du tapis végétal. Ainsi, la végétation du Kaiserstuhl, bien que reposant sur des roches silicéo-alumineuses, n'est pas la même que celle des Vosges, du Schwarzwald, etc., où les substrats rocheux sont pourtant de même nature;
- 5) que les plantes hygrophiles correspondent à des sols frais et humides; les xérophiles à des sols plus secs; mais, comme ces sols sont eux-mêmes la résultante des roches eugéogènes, respectivement dysgéogènes, il s'ensuit une exacte concordance par rapport à la physique ou la mécanique du sol, mais non à sa chimie.
- 6) Quant à la dispersion relativement au Jura, elle est semblable dès l'instant où nous pouvons lui opposer des sols dysgéogènes (Kaiserstuhl); elle est en revanche différente, dès l'instant où nous la mettons en parallèle avec celle des sols eugéogènes.

D'où cette conclusion: «Parmi les facteurs principaux de l'état du sol (à latitudes et altitudes égales), son degré de division, sa profondeur et sa quantité d'humidité décident principalement de la ressemblance et de la dissemblance du tapis végétal, tandis que l'identité de composition chimique n'entraîne aucune identité à cet égard.» (44)

Il restait à inscrire ces résultats dans une cartographie qui fasse bien ressortir que les contrastes végétaux sont liés à ceux des roches sous-jacentes. Sur une «Esquisse de la disposition générale des masses géologiques de la contrée classées sous le rapport de la division mécanique des roches», THURMANN, cette fois, fait correspondre à chaque teinte non seulement la roche et le sol qui en est issu par désagrégation, mais la répartition des flores hygrophiles et xérophiles en fonction des roches eugéogènes et dysgéogènes.

Mais, pour faire ressortir mieux encore et d'une manière plus exacte les trois manières d'être prédominantes de la végétation des vallées, des reliefs calcaires ou basaltiques, et des reliefs cristallins ou clastiques, dans lesquels prédominent respectivement les sols péliques, dysgéogènes et psammiques, il compose trois groupes de douze espèces chacun, correspondant aux

xérophiles,  
hygrophiles plus péliques,  
hygrophiles plus psammiques.

THURMANN montre alors, dans une série de coupes, que les groupes des plantes retenues peuvent être relevés sur les sols dysgéogènes, eugéogènes plus psammiques ou eugéogènes plus péliques; il est donc possible de représenter, avec une fidélité suffisante, la dispersion générale de ces trois groupes. L'œuvre culmine donc par une tentative de cartographie, «couronnement des recherches sur la végétation», écrit M. MAX MOOR (45).

Tels étaient les fondements de la théorie physique des sols qui voyait, dans la structure physique de la roche sous-jacente, à climat égal, le facteur le plus important de dispersion des espèces végétales. Cette théorie, THURMANN la défendit vigoureusement. Lors des assises de la

Société Helvétique des Sciences Naturelles de 1853, il avait présenté à ce sujet un travail intitulé *De la marche à suivre dans l'étude de la dispersion des plantes relativement aux roches sous-jacentes* (46), dans lequel il s'efforçait de donner des directives permettant d'éviter les erreurs dans ce genre d'investigation. On a bien l'impression, à relire ces pages, d'une lutte d'opinion entre deux camps rigoureusement partagés. On distingue les «défenseurs de l'influence chimique» et les «partisans de l'influence mécanique»; il est question de «polémique», de «litige», etc. Et, pour finir, on assiste à une véritable profession de foi: «Nous croyons, quant à nous, que l'avenir réserve la victoire à l'influence mécanique; nous croyons que quand chaque botaniste aura vu, de ses propres yeux, comme nous-même, la même plante se plaire également bien dans la terre végétale modifiée par un sable siliceux ou par un sable dolomitique, ou dans le mince humus d'une roche calcaire ou quartzeuse, moyennant qu'elle ne soit point sableuse, nous croyons, disons-nous, qu'il partagera notre opinion, et que l'on en viendra à l'interprétation si simple et si naturelle qui a instinctivement précédé toutes les autres, et qui a fait, de tout temps, distinguer les plantes des stations sableuses de celles qui ne le sont point.» (47) Venant à la rescousse, le naturaliste montbéliardais CONTEJEAN rompait, lui aussi, une lance en faveur de la théorie physique des sols dans son travail *Remarques sur la dispersion des plantes vasculaires relativement aux roches sous-jacentes, dans les environs de Montbéliard* (48). La théorie de l'influence mécanique des terrains «lui donne la solution satisfaisante complète de toutes les questions inexplicées jusqu'alors» (49). «J'accepte donc, déclarait ce bon militant, la théorie de M. THURMANN, cette théorie ayant, à mes yeux, un tel caractère d'évidence qu'elle me semble devoir être universellement adoptée quelque jour. Si ce résultat n'est pas encore acquis, c'est, à mon avis, qu'un grand nombre de botanistes sont loin d'habiter des pays où les contrastes de flores et de terrains sont aussi saillants, aussi multipliés que dans notre Jura et sur la lisière française.» (50)

Aux antipodes de ces opinions, UNGER (51) défendait une théorie de l'influence chimique tout aussi absolue. Opposition aux apparences irréductibles, que M. BRAUN-BLANQUET présente en ces termes laconiques: «Tantôt THURMANN, tantôt UNGER, telle sera l'alternative qui, durant plusieurs décennies, séparera littéralement les phytogéographes en deux camps et marquera de son cachet les études de sociologie végétale de cette époque.» (52)

On ne reconnut que plus tard que les deux théories se complètent; quant à savoir ce qu'il advint des études phytosociologiques dans le Jura, à la suite de l'œuvre novatrice de THURMANN, nous vous renvoyons, Mesdames et Messieurs, au magistral article de M. MOOR, déjà cité.

Mesdames, Messieurs,

Nous croyons avoir montré suffisamment quelle fut l'œuvre scientifique de JULES THURMANN. Il resterait à vous parler de l'homme, du citoyen, du fondateur de la Société jurassienne d'émulation, du péda-

gogue, premier directeur de l'Ecole normale des instituteurs du Jura. Ceci dépasserait le cadre de l'hommage que nous avons réservé aujourd'hui au savant, mais grandirait singulièrement celui-ci en le hissant au rang de ceux qui, selon le mot de Térence, furent hommes, et auxquels rien de ce qui est humain ne fut étranger.

Un mal sournois terrassa JULES THURMANN le 25 juillet 1855, alors qu'il mûrissait le projet de maintes publications, dont l'une ou l'autre furent publiées comme œuvres posthumes.



Fig. 10

Tombe de Jules Thurmann et de son épouse Antoinette, née Blétry. On remarquera, sur l'arête supérieure du socle, des sculptures représentant des fossiles (ammonites, bélemnites, etc.). — Porrentruy, cimetière Saint-Germain.

Photogr. A. Perronne, octobre 1955

Fondateur de l'orographie jurassienne, pionnier de la phytosociologie, JULES THURMANN s'est élevé lui-même le plus beau des monuments par ses œuvres scientifiques puissantes et novatrices. Et, tandis que défilent sous vos yeux la pierre posée il y a cent ans sur sa tombe (fig. 10), et les attributs par lesquels on voulut symboliser sa carrière de savant, il nous plaît d'évoquer, une fois encore, cette extraordinaire personnalité qui ouvrit à la Science de tels horizons. Nous lui trouvons une majesté telle, que seule la gloire des couchants enflammés, de ces couchants qui ne veulent pas finir et auxquels nous assistons, muets et recueillis, du haut de nos promontoires rocheux, nous en donne le reflet, l'éclat, en même temps que la mesure.

Je déclare ouverte la 135<sup>e</sup> Session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

#### Citations

- (1) Voir: Actes de la S.H.S.N., 1853, p. 1 à 12.
- (2) Ibidem, p. 3.
- (3) Ibidem, p. 4.
- (4) Ibidem, p. 5.
- (5) Ibidem, p. 11.
- (6) Il s'agit de l'ouvrage Recueil d'études et de travaux scientifiques, publié à l'occasion de la 135<sup>e</sup> Session de la S.H.S.N., et remis aux participants à celle-ci.
- (7) J. BOURQUIN. Jules Thurmann, géologue et botaniste, 1804–1855. Porrentruy, 1937, p. 5.
- (8) G. POTTIER-ALAPETITE. Recherches phytosociologiques et historiques sur la végétation du Jura central et sur les origines de la flore jurassique. Tunis, 1943, p. 14.
- (9) J. BLÉTRY et J. JOACHIM. Un officier colmarien à l'expédition d'Egypte: Lettres du capitaine Thurmann (1798–1801). Revue d'Alsace, N<sup>o</sup> 510, Colmar, 1931.
- (10) Ibidem, p. 26.
- (11) J. THURMANN. Mémoire de famille.
- (12) Ibidem.
- (13) Ibidem.
- (14) P.-O. BESSIRE. Le Jura, entité nationale. Le livre du centenaire. Société jurassienne d'Emulation. Porrentruy, 1947, p. 23.
- (15) Ibidem, p. 23.
- (16) Mémoire de famille.
- (17) Ibidem.
- (18) Essai sur les soulèvements. 1<sup>er</sup> cahier, p. 75.
- (19) Ibidem, p. 75.
- (20) P. VENDRYÈS. L'acquisition de la science. Paris, 1946, p. 162 à 163.
- (21) Essai sur les soulèvements. 1<sup>er</sup> cahier, p. 2.
- (22) Ibidem, p. 2.
- (23) A. LALANDE. Vocabulaire technique et critique de la philosophie. Paris, 1947, p. 521.
- (24) Essai sur les soulèvements. 1<sup>er</sup> cahier, p. 75.
- (25) Ibidem, p. 40.
- (26) Ibidem, p. 40.
- (27) Ibidem, p. 42 à 43.
- (28) Mémoire de famille.
- (29) L. MEYLAN. Les humanités et la personne. Neuchâtel, 1939, p. 175.
- (30) J. THURMANN. Essai sur les soulèvements jurassiques. 2<sup>e</sup> cahier, Porrentruy, 1836, p. 19.

- (31) J. THURMANN. Résumé des lois orographiques des Monts-Jura, pour servir de prodrome à son second ouvrage sur ce sujet. Actes de la S.H.S.N., 1853, p. 280 à 292.
- (32) Mémoire de famille.
- (33) Résumé, etc., p. 283.
- (34) Ibidem, p. 288.
- (35) Ibidem, p. 292.
- (36) Ibidem, p. 292.
- (37) J. FAVRE et A. JEANNET. Le Jura. Guide géologique de la Suisse. Fasc. 1, 1934, p. 42.
- (38) Ibidem, p. 55.
- (39) Voir M. LUGEON. Une hypothèse sur l'origine du Jura. Bull. de la Soc. vaud. des sc. nat., vol. 61, 1941, p. 465 à 478.
- (40) A. PERRONNE. Observations aéroTECTONIQUES en contradiction avec les théories actuelles sur la formation du Jura. Recueil d'études et de travaux scientifiques publié à l'occasion de la 135<sup>e</sup> Session de la S.H.S.N., Porrentruy, 1955, p. 23 à 45.
- (41) Essai sur les soulèvements. 1<sup>er</sup> cahier, p. 77.
- (42) Essai de phytostatique. Vol. I, p. VII.
- (43) Cité d'après J. THURMANN. Essai de phytostatique. Vol. I, p. 89.
- (44) Ibidem, p. 274.
- (45) M. MOOR. L'étude de la végétation dans le Jura et en Ajoie. Recueil d'études et de travaux scientifiques publié à l'occasion de la 135<sup>e</sup> Session de la S.H.S.N. p. 195.
- (46) Actes de la S.H.S.N. Porrentruy, 1853, p. 169 à 189.
- (47) Ibidem, p. 181 à 182.
- (48) Actes de la S.H.S.N. Porrentruy, 1853, p. 189 à 201.
- (49) Ibidem, p. 190.
- (50) Ibidem, p. 201.
- (51) F. UNGER. Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse. Wien, 1836.
- (52) J. BRAUN-BLANQUET. Pflanzensoziologie. Berlin, 1828, p. 136.

# La culture des tissus végétaux : physiologie et nutrition

par

R.-J. GAUTHERET, Paris

Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs,

Avant d'aborder le sujet de cette conférence, je tiens à vous dire la joie que j'éprouve à me trouver parmi vous et ma fierté d'être l'invité de votre société si réputée.

Cette joie, je la dois à la confiance de M. le président GUÉNIAT et à l'amitié de M. le professeur SCHOPFER. Qu'ils me permettent de leur exprimer ma gratitude.

## *Introduction*

Le problème dont je vous parlerai a une origine lointaine. Il était en germe dans la théorie cellulaire telle qu'elle fut énoncée par SCHWANN et SCHLEIDEN au début du siècle dernier. Cette théorie, rappelons-le, considère la cellule comme l'unité fondamentale de tout organisme animal ou végétal. Elle affirme non seulement l'universalité de la structure cellulaire mais prévoit que la cellule doit être capable de vie autonome. Le premier point fut confirmé avec éclat par les histologistes de la période classique. Mais le second garda pendant près de soixante-dix ans le caractère d'un axiome inaccessible à toute vérification.

Quelques présomptions plaidèrent cependant en sa faveur. C'est ainsi que l'existence d'êtres unicellulaires prouvait l'autonomie physiologique de la cellule. Mais cette preuve était inapplicable au cas des organismes complexes pour lesquels les diverses fonctions indispensables à la vie sont séparées dans des cellules distinctes. On pouvait en effet se demander si la spécialisation des cellules ne limitait pas leurs possibilités d'autonomie. Pour répondre à cette question il aurait fallu séparer les cellules d'un organisme complexe et déceler leur faculté éventuelle de vie autonome. Cette expérience cruciale était irréalisable à l'époque à laquelle SCHLEIDEN et SCHWANN fondèrent les principes de leur doctrine. Elle le devint après l'établissement des principes de la microbiologie.

La première tentative de ce genre fut réalisée par le botaniste HABERLANDT. Dès 1902, il essaya de cultiver des fragments de feuilles, de racines et de tiges. Ses efforts échouèrent complètement car il s'était

adressé à des types cellulaires très différenciés, ayant définitivement perdu la faculté de se multiplier.

Son idée fut reprise par des chercheurs travaillant sur la cellule animale. En 1907, HARRISON parvint à entretenir pendant quelque temps la prolifération de fragments de tissus de grenouille et, cinq ans plus tard, ALEXIS CARREL réalisa pour la première fois la culture indéfinie de fibroblastes de poulet. Ce succès suscita un enthousiasme très vif et de nombreux chercheurs s'engagèrent dans la voie ainsi ouverte. La culture des tissus animaux amorça alors sa puissante expansion. Ce succès incita les botanistes à intensifier leurs propres efforts. Mais, une fois encore, ils travaillèrent en vain, et vers 1921, aucune solution n'était en vue. C'est alors qu'un savant américain, ROBBINS, commença à entrevoir la voie qui, quinze ans plus tard, devait conduire au succès. Il comprit que la culture des tissus ne pourrait être réalisée qu'en s'adressant à des cellules méristématiques, c'est-à-dire à des éléments qui, dans la plante, prolifèrent avec activité.

Les méristèmes les plus facilement accessibles sont les points végétatifs qui constituent des massifs de petites cellules localisés aux extrémités des tiges et des racines. Par leur fonctionnement ordonné ils assurent la croissance en longueur et la ramification des organes de la plante (fig. 1).

C'est à ces points végétatifs que ROBBINS s'adressa; son effort principal porta sur la réalisation de cultures de racines. Il isola des extrémités de racines et les plaça dans un milieu nutritif très simple contenant des sels minéraux et du glucose; ces extrémités de racines s'accroissaient rapidement et se ramifiaient. Pour prolonger la durée des cultures, ROBBINS entreprit de les repiquer en sectionnant les méristèmes d'une racine ayant été cultivée pendant quelque temps et en les transportant dans des milieux neufs. Il parvint ainsi à prolonger l'activité de ses cultures mais celle-ci cessait néanmoins au bout de quelques mois. En 1934, WHITE reprit ces essais et parvint à obtenir pour la première fois le développement illimité des racines isolées.

Les expériences de ROBBINS et de WHITE, malgré leur intérêt, n'avaient pas résolu le problème de la culture des tissus végétaux. En effet, les extrémités de racines cultivées par ces savants fournissaient toujours des organes possédant une morphologie et une structure bien définies.

Pour obtenir de véritables cultures de tissus nous avons eu recours à un autre type de méristème que celui constituant les points végétatifs. Ce second méristème se rencontre principalement chez les Dicotylédones et les Gymnospermes où il constitue, dans la profondeur de la tige et de la racine, de vastes nappes cylindriques appelées cambiums (fig. 1). Pour distinguer le cambium, arrachons par exemple l'écorce d'un arbre, lambeau par lambeau. On parvient bientôt à un tissu incolore, mou, gorgé d'eau, étroitement appliqué contre le bois qui est résistant et plus sec. Ce tissu délicat représente le cambium de l'arbre. C'est lui qui prolifère pendant la belle saison, produisant chaque année vers l'extérieur une

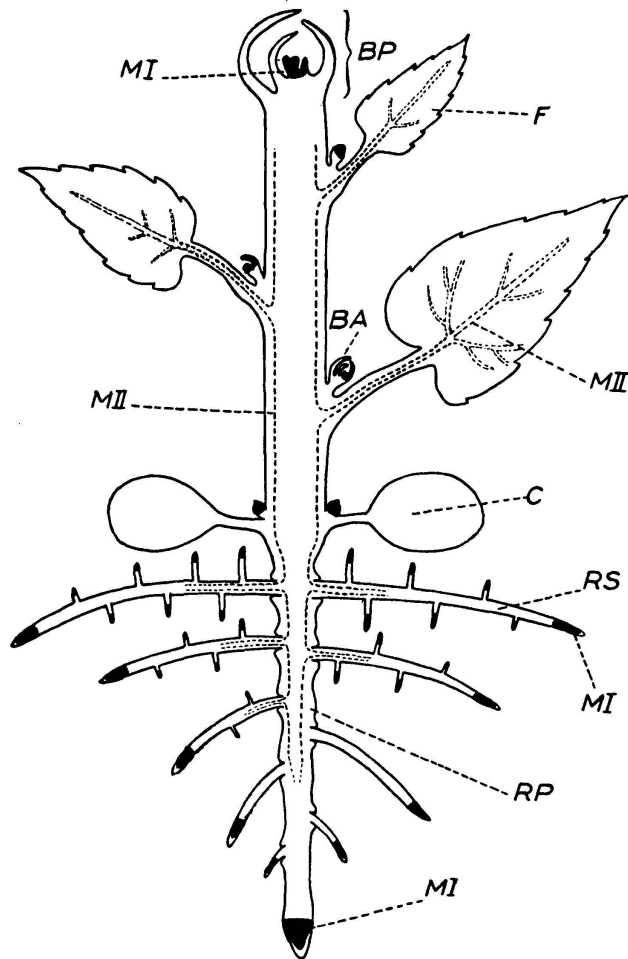


Fig. 1 Schéma d'un végétal vasculaire (Dicotylédone)

Les extrémités des racines et des tiges ainsi que les bourgeons axillaires sont occupés par des massifs méristématiques primaires (MI) qui assurent l'accroissement en longueur et la ramification de la plante. Tous les organes renferment en outre un méristème secondaire (M II) qui s'organise plus ou moins tardivement au sein des tissus primaires. La prolifération de ce méristème secondaire assure la croissance en épaisseur.

- B P: bourgeon principal
- B A: bourgeon axillaire
- F: feuille
- C: cotylédon
- R P: racine principale
- R S: racine secondaire

mince couche de tissu conducteur de la sève élaborée auquel on donne le nom de liber et vers l'intérieur une couche de bois tendre qui s'ajoute aux assises des années précédentes. Ce méristème ne se rencontre pas seulement dans les arbres mais aussi dans les tubercules, les lianes et les tiges herbacées banales des Dicotylédones et des Gymnospermes.

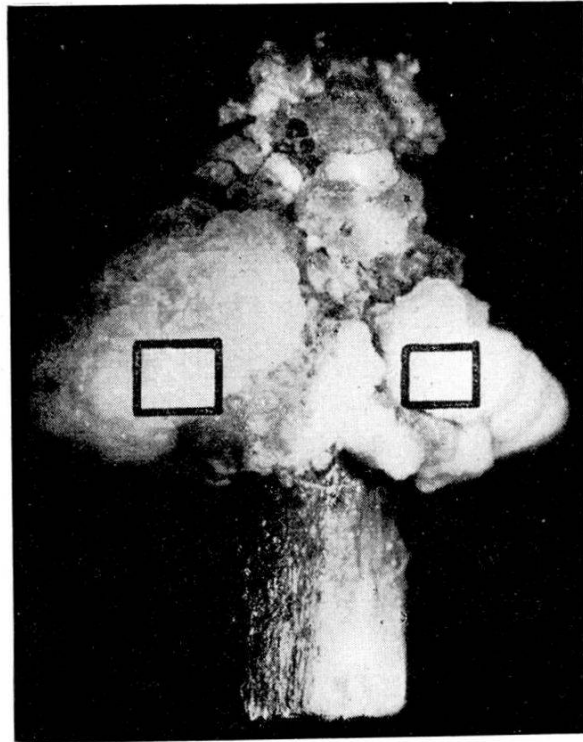
En isolant des fragments de troncs d'arbres ou de tubercules contenant des cellules cambiales nous avons pu obtenir une prolifération désordonnée aboutissant à de véritables cultures de tissus. Par la suite nous avons constaté que certains parenchymes de racines formés de cellules peu différenciées, analogues aux éléments conjonctifs des animaux, pou-

vaient être cultivés de la même manière que les cambiums. Signalons que WHITE a constaté que des cultures de tissus pouvaient être également obtenues à partir de diverses tumeurs produites par des Dicotylédones.

Ces travaux préliminaires suscitèrent de nombreuses vocations. L'une des plus fécondes fut celle de notre élève MOREL qui généralisa la méthode des cultures de tissus à des plantes très diverses appartenant aux groupes des Dicotylédones, des Gymnospermes, des Monocotylédones et même des Ptéridophytes.

*Caractères morphologiques des cultures de tissus végétaux*

Lorsqu'on met en culture un fragment d'organe, il se développe pour donner des protubérances parenchymateuses (fig. 2) et parfois encore des bourgeons ou des racines.

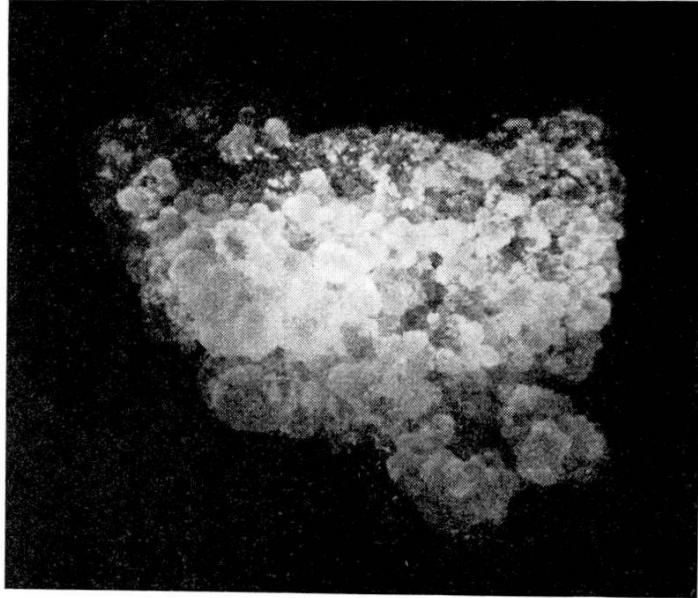


*Fig. 2 Culture de cambium de saule âgée de deux mois*

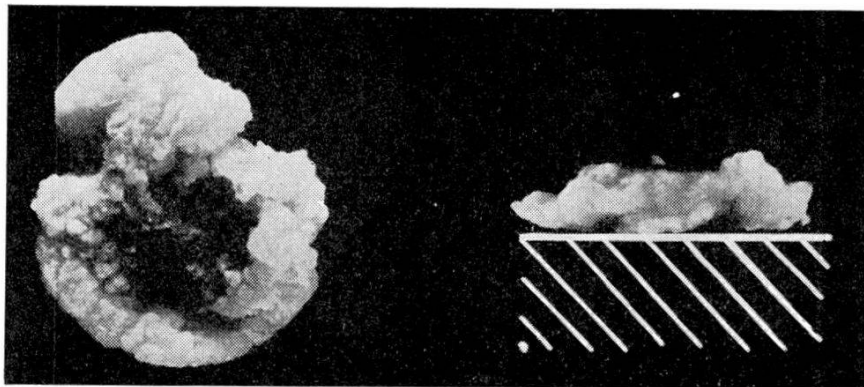
L'explantat a proliféré pour donner une volumineuse protubérance. Les régions circonscrites par les rectangles correspondent aux parties que l'on doit prélever lors du repiquage de la culture.

La prolifération est très intense au début de la culture puis elle se ralentit au bout de trois à quatre mois et finalement les tissus se nécrosent. Pour prolonger l'activité des cultures il faut procéder à leur repiquage, c'est-à-dire prélever sur l'explantat un fragment de tissus en voie de croissance rapide (fig. 2) et le transporter dans un milieu neuf.

Le fragment ainsi repiqué s'accroît en tous sens pour donner une masse compacte (fig.3) ou prolifère seulement sur ses bords pour



*Fig. 3* Culture de tissus de carotte âgée de deux mois provenant d'une souche de 18 ans (106<sup>e</sup> repiquage)

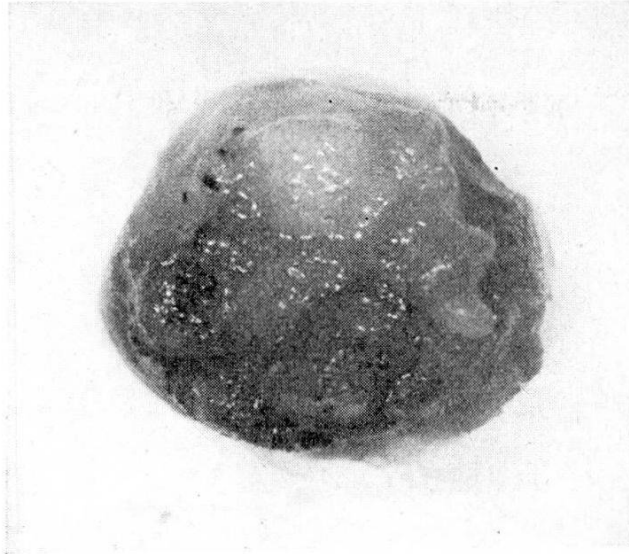


*Fig. 4* Culture de tissus d'aubépine âgée de 45 jours provenant d'une souche de six ans (38<sup>e</sup> repiquage)

A droite, colonie vue de profil. Le milieu de culture est représenté par des traits hachurés. A gauche, colonie vue de face. On constate que l'explantat s'est développé à la manière d'une colonie de levures pour donner un disque aplati.

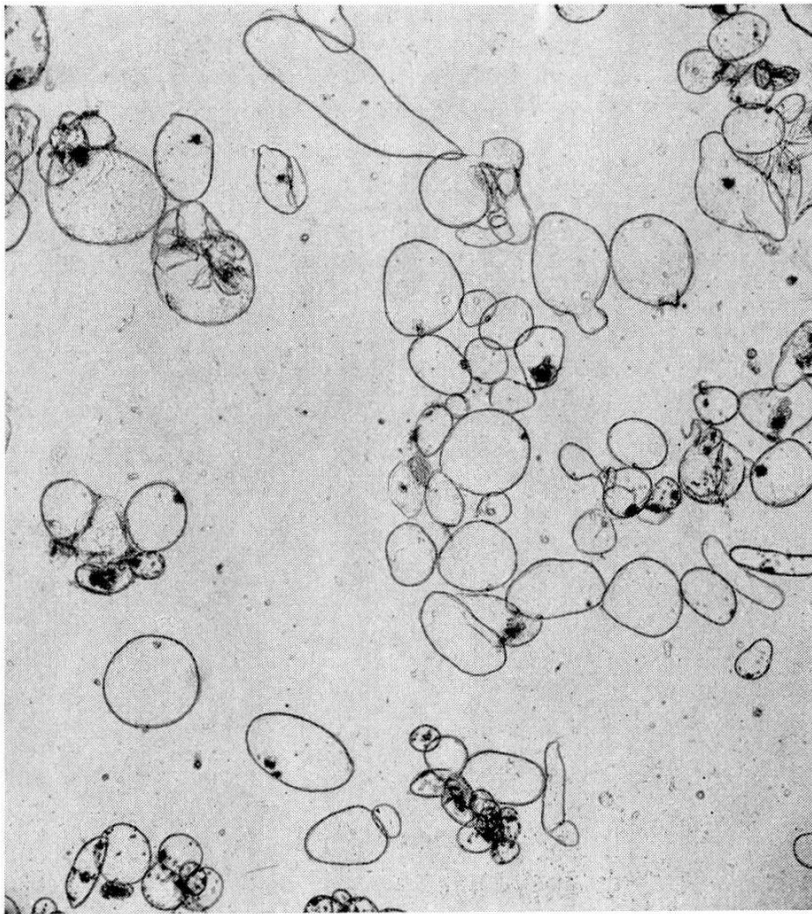
donner un disque aplati s'étalant à la surface du milieu de culture (fig. 4). La taille de ces colonies peut être considérable. En employant de grands récipients renfermant deux à trois litres de milieu nutritif, on peut obtenir des colonies géantes pesant plusieurs centaines de grammes. Les cultures peuvent se développer indéfiniment si l'on pratique des repiquages à intervalles réguliers. Nous entretenons de nombreuses souches tissulaires depuis plus de dix ans. La plus ancienne (fig. 3) est actuellement âgée de 18 ans.

L'étude anatomique des colonies révèle deux types de structure. Parfois elles sont faites d'une masse parenchymateuse entièrement homo-



*Fig. 5 Culture de tissus de crown-gall de vigne*

La colonie est faite d'un tissu mou entièrement translucide.



*Fig. 6 Structure d'une colonie de tissus de crown-gall de vigne*

La colonie a été légèrement écrasée; on constate qu'elle est faite de cellules complètement indépendantes.

gène. Mais le plus souvent il apparaît au sein du parenchyme fondamental des cellules cambiales qui produisent des cellules libériennes ou des trachéides plus ou moins bien différenciées. Dans ce cas, les colonies ont donc une structure hétérogène. Certaines colonies présentent enfin l'aspect d'une sorte de purée et leur examen microscopique montre qu'elles sont faites de cellules entièrement isolées les unes des autres (fig. 5 et 6).

### *La nutrition des cultures de tissus végétaux*

Les milieux employés pour la culture des tissus végétaux sont très simples et parfois même entièrement synthétiques. Ils renferment de l'eau, des sels minéraux, un sucre et généralement une ou plusieurs substances capables d'exciter la multiplication des cellules. Ils sont presque toujours solidifiés par de la gélose qui assure une ambiance colloïdale favorable au développement des tissus. Nous allons examiner les principaux éléments nutritifs de ces milieux.

### *Sels minéraux*

Les fondateurs de la culture des tissus végétaux ont obtenu de bons résultats en utilisant comme milieu minéral l'une des solutions de macroéléments employées pour la culture des plantes entières; solution de KNOP, solution d'USPENSKI, etc. Ces solutions étaient additionnées de quelques microéléments. Des recherches ultérieures ont suggéré d'apporter quelques retouches à leur composition. Les plus étendues entreprises par HELLER ont abouti à la mise au point d'une solution minérale qui permet d'obtenir une prolifération deux à trois fois supérieure à celle procurée par les anciens milieux.

Cette solution a la composition suivante:

### *Solution minérale d'Heller*

| Macroéléments<br>(en millions-grammes par litre)   | Microéléments<br>(en grammes par cc.) |
|--|---------------------------------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 7,1                 | Fe : 2.10 <sup>-7</sup>               |
| K <sup>+</sup> : 10,0                              | B : 1,8.10 <sup>-7</sup>              |
| Ca <sup>++</sup> : 0,51                            | Mn : 2,5.10 <sup>-8</sup>             |
| Mg <sup>++</sup> : 1,03                            | Zn : 2,3.10 <sup>-8</sup>             |
| SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> : 1,03               | Cu : 7,7.10 <sup>-9</sup>             |
| PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup> : 0,91 | Ni : 7,5.10 <sup>-9</sup>             |
| Na <sup>+</sup> : 8,0                              | I : 7,6.10 <sup>-9</sup>              |
| Cl <sup>-</sup> : 11,0                             | Al : 7,5.10 <sup>-9</sup>             |

La suppression de l'un quelconque des six premiers macroéléments provoque la mort des cultures au bout d'un à deux passages. Par contre les deux derniers, c'est-à-dire Na et Cl ne sont pas indispensables

mais favorisent légèrement le développement des cultures. Quant aux microéléments certains sont essentiels. La suppression de l'un quelconque des cinq premiers provoque la mort au bout de trois à cinq passages. Ce résultat fourni par des essais entrepris sur des cultures de tissus est important car jusqu'à présent la nécessité absolue des microéléments n'avait pu être vraiment démontrée, du moins dans le cas des plantes supérieures. Quant aux trois derniers microéléments, leur présence exalte simplement la multiplication des cellules et l'on peut les supprimer sans inconvénient.

### *Sucres*

Les colonies tissulaires n'élaborent généralement pas de chlorophylle ou lorsqu'elles en produisent c'est en quantité si faible qu'elles ne sont que partiellement autotrophes. Il faut donc leur fournir une source organique de carbone. Les plus efficaces sont le glucose ou le saccharose. Mais certains tissus sont capables d'utiliser des formes de carbone un peu inattendues par exemple du glycérol ou même de l'amidon (NICKELL). En suivant les transformations glucidiques qui s'opèrent au sein des tissus, GORIS a constaté qu'il existe un équilibre à peu près indépendant de la nature du sucre fourni comme aliment. Ainsi, les tissus de carotte renferment un mélange de saccharose, de fructose et de glucose qui reste invariable que ce soit l'un ou l'autre de ces trois sucres qu'on mette à leur disposition. Les cellules isomérisent donc les sucres sans difficulté.

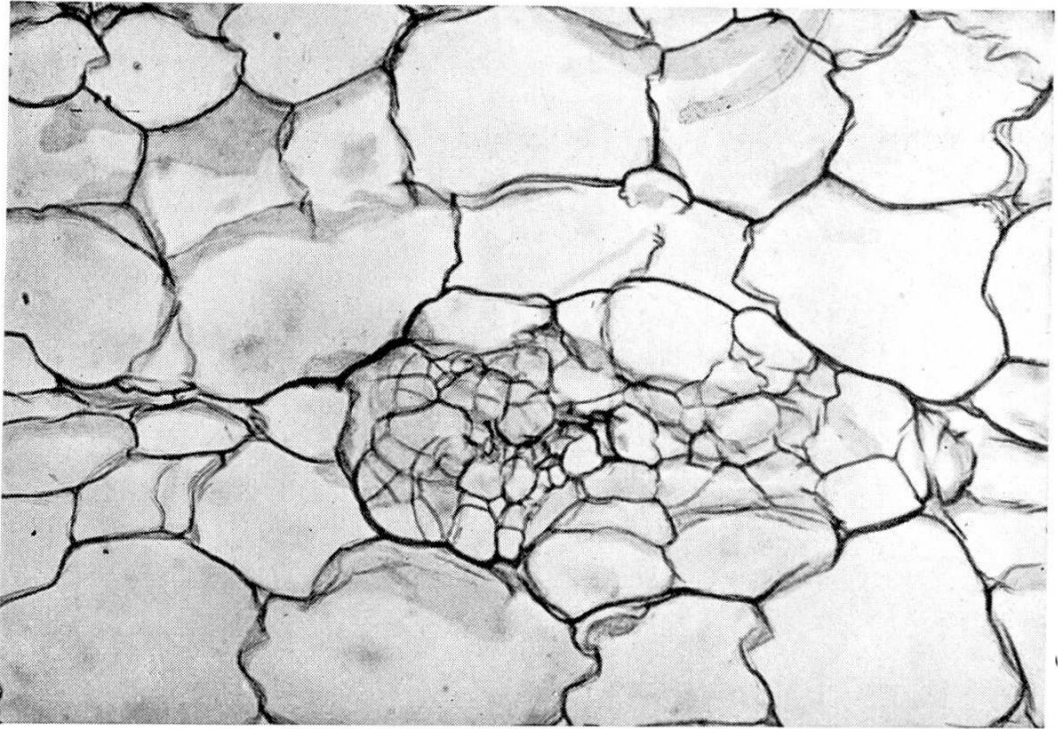
Signalons enfin que l'équilibre glucidique intracellulaire peut être déplacé par certains stimulants de la multiplication cellulaire tels que les auxines et le lait de coco ou par certaines substances inhibitrices comme l'hydrazide maléique.

### *Substances stimulantes*

Certains tissus normaux, par exemple le tissu cambial de carotte ou de ronce et la plupart des tissus tumoraux sont capables de proliférer dans un milieu dépourvu de tout facteur de croissance et ne contenant donc comme éléments nutritifs que des sels minéraux et un sucre. Mais le plus souvent, on est obligé d'avoir recours à diverses substances organiques qui stimulent électivement la multiplication cellulaire. Ces substances sont, soit des composés définis, soit des produits naturels dont la composition est encore mal connue.

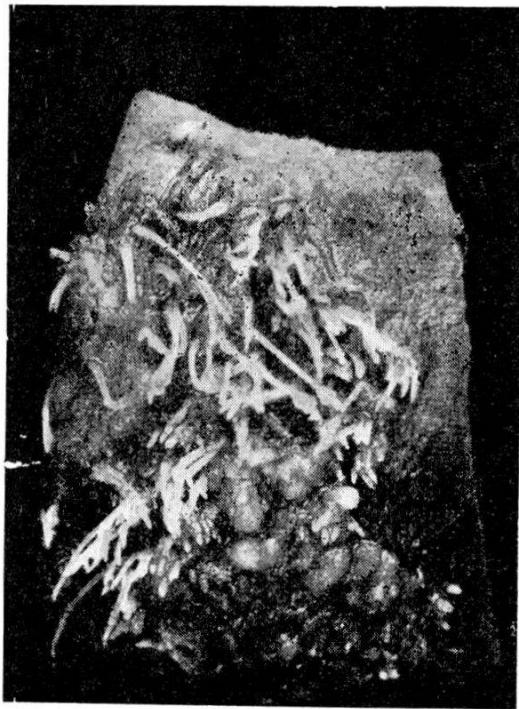
### *Substances définies*

Les plus importantes sont les auxines. Leur utilisation a joué un rôle décisif dans la réalisation des premières cultures de tissus normaux. En principe elles sont indispensables à tous les tissus de Dicotylédones. Ceux qui semblent pouvoir s'en passer sont en réalité autotrophes à leur égard c'est-à-dire qu'ils en élaborent eux-mêmes une quantité suffisante



*Fig. 7 Coupe pratiquée dans un fragment de phloème de carotte ayant été cultivé dans un milieu contenant  $10^{-7}$  d'acide indole-acétique*

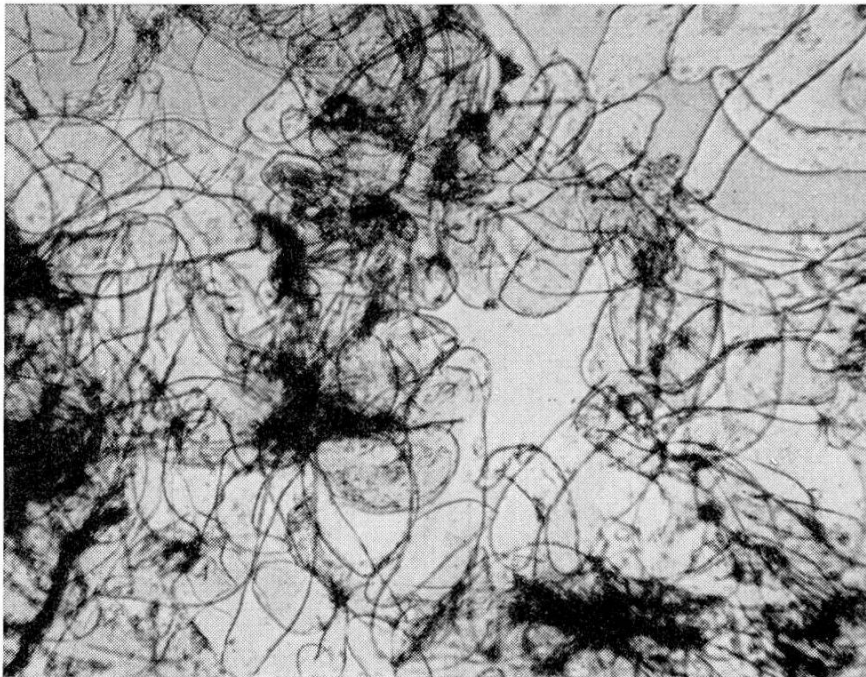
Certaines cellules parenchymateuses se sont multipliées pour donner des massifs de petits éléments méristématiques.



*Fig. 8 Fragment de phloème de carotte ayant été cultivé dans un milieu contenant  $10^{-6}$  d'acide indole-acétique*

On constate que l'auxine a provoqué la formation de nombreuses racines.

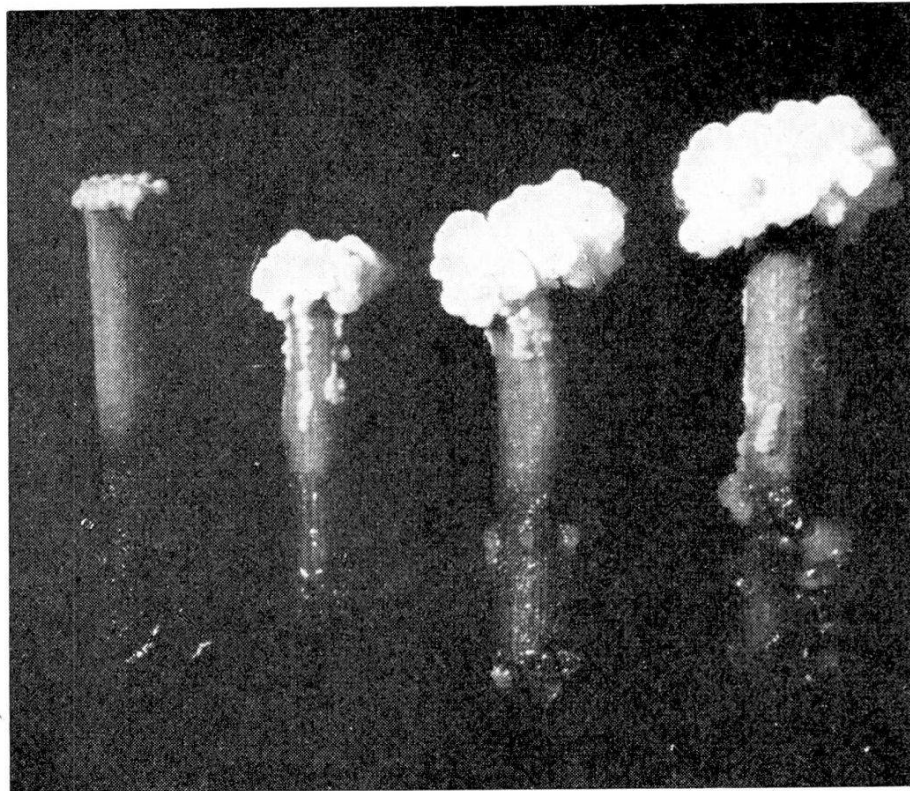
pour qu'il soit inutile de leur en fournir (KULESCHA). Les auxines les plus employées pour les cultures de tissus sont l'acide indole-acétique et surtout l'acide naphthalène-acétique. Leur maniement est assez délicat car leur mode d'action varie selon la dose. Si l'on cultive par exemple des tissus de carotte dans un milieu contenant de l'acide indole-acétique à la dose de  $10^{-8}$  à  $10^{-7}$  on observe une stimulation de la prolifération cellulaire (fig. 7). Si l'on emploie une dose plus forte de l'ordre de  $10^{-6}$ , on constate que l'auxine devient rhizogène et provoque la formation de nombreuses racines (fig. 8). Une dose encore plus forte de l'ordre de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  détermine enfin un accroissement des cellules dans toutes les directions ce qui entraîne une dissociation plus ou moins complète des tissus (fig. 9). Pour obtenir des cultures durables, il faut donc choisir la dose d'auxine qui provoque électivement la multiplication cellulaire.



*Fig. 9* Fragment de phloème de carotte ayant été cultivé dans un milieu contenant  $10^{-5}$  d'acide indole-acétique

Les cellules de l'explantat se sont dissociées et gonflées en tous sens.

Les vitamines favorisent également la prolifération des cultures de tissus végétaux, NICKELL a par exemple constaté que la vitamine  $B_1$  est indispensable au développement des tissus d'oseille. Mlle PARIS a remarqué que dans d'autres cas cette vitamine exerce une action stimulante sans être nécessaire. Il en est de même de l'acide pantothénique (fig. 10) à l'égard des tissus d'aubépine (MOREL) et de saule. En pratique on utilise des mélanges complexes renfermant jusqu'à dix vitamines sans savoir la part qui revient à chacune d'elles dans les stimulations qu'on observe. Comme dans le cas des auxines, les vitamines qui paraissent inutiles sont élaborées en quantité appréciable par les tissus.



*Fig. 10* Action de l'acide naphthalène-acétique et de l'acide pantothénique sur le développement de fragments de tiges d'aubépine

De gauche à droite, fragments cultivés: 1° dans un milieu sans facteur de croissance, 2° en présence de  $5,10^{-7}$  d'acide pantothénique, 3° en présence de  $5,10^{-7}$  d'acide naphthalène-acétique, 4° dans un milieu contenant à la fois ces deux substances. L'action stimulante de l'acide pantothénique se manifeste nettement. (D'après Morel).

On se sert enfin d'amino-acides et de bases organiques. Isolément ces substances sont peu actives mais elles manifestent souvent des phénomènes de synergie lorsqu'on les associe à des vitamines ou à certains produits naturels extraits du lait de coco.

### *Substances indéfinies*

Les fondateurs de la culture des tissus animaux avaient pensé avec raison que le tissu embryonnaire devait contenir les facteurs de la multiplication cellulaire. Ce principe fut appliqué aux végétaux par VAN OVERBEEK, CONKLIN et BLAKESLEE. Ils pensèrent que l'albumen liquide de la noix de coco qui est en réalité un embryon devait posséder des propriétés stimulantes. Leur idée était exacte car ce liquide favorise le développement des embryons isolés et celui des cultures de tissus de Dicotylédones (CAPLIN et STEWARD). Il agit également d'une manière remarquable sur les tissus de Monocotylédones (MOREL) et, fait curieux, il sti-

mule la prolifération des tissus tumoraux (fig. 11) qui sont insensibles aux auxines (DUHAMET).

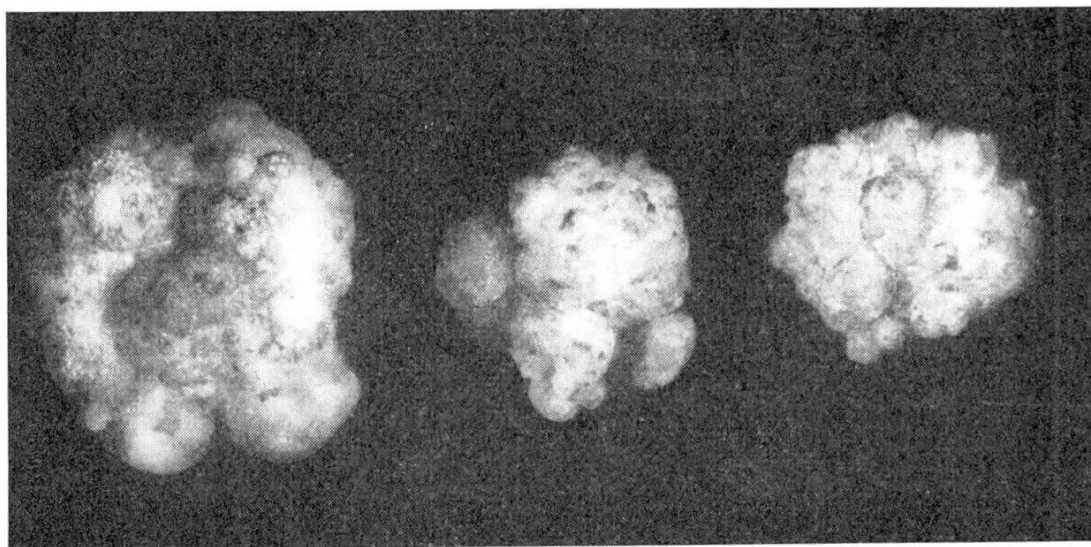


Fig. 11 Action du lait de coco sur le développement des tissus de crown-gall de scorsonère

A droite, colonie cultivée dans un milieu dépourvu de facteurs de croissance. Au milieu, colonie cultivée en présence de  $10^{-6}$  d'acide indole-acétique. A gauche, colonie cultivée sur un milieu contenant 15% de lait de coco.

A la suite de recherches extraordinairement délicates qui forcent l'admiration, SHANTZ et STEWARD sont parvenus à isoler les substances contenues dans le lait de coco. Ces substances sont au moins au nombre de quatre. Elles n'ont aucune activité propre mais manifestent un pouvoir stimulant considérable lorsqu'on les associe à un mélange d'acides-amino sous forme d'hydrolysate de caséine. Deux ont pu être identifiées: il s'agit de la 1-3-diphénylurée et d'une leucoanthocyane. Ces travaux ont suggéré de faire agir divers extraits végétaux sur des cultures de tissus.

On a ainsi découvert les propriétés stimulantes des jeunes albumens de maïs, d'orge, d'avoine, etc., d'extraits de divers fruits: tomate, orange, raisin, *Artocarpus*, etc. et de graines: noix, *Aesculus*, *Allanblackia*, etc. Les substances stimulantes contenues dans ces extraits n'ont pu être identifiées à l'exception de celle des graines d'*Aesculus* qui, d'après SHANTZ et STEWARD, serait une leucoanthocyane analogue à celle du lait de coco.

#### *Variations des besoins en facteurs de croissance*

Les besoins en facteurs de croissance ne sont pas fixes pour un tissu donné, mais on observe très souvent des variations.

Il se peut qu'un tissu devienne plus exigeant au cours de la culture. L'exemple le plus net de ce type de modification est fourni par les tissus normaux de topinambour ou de scorsonère. Ces tissus s'accroissent lentement dans un milieu ne contenant d'autres facteurs de croissance qu'une

auxine. Si on les repique dans une solution nutritive additionnée de lait de coco, leur prolifération s'accélère mais si on les reporte ultérieurement sur le milieu primitif leur développement cesse aussitôt. Les tissus ayant subi l'action du lait de coco ne peuvent donc plus s'en passer.

En réalité, les augmentations de besoins nutritifs sont assez rares. Le phénomène inverse est au contraire très fréquent. Il constitue notamment un caractère essentiel des transformations tumorales. On constate en effet que les tissus de crown-gall de scorsonère, de topinambour, etc. sont capables de proliférer sans auxine, alors que les tissus normaux correspondants exigent une substance de ce type. Cette modification est due à l'action transitoire d'une bactérie spécifique l'*Agrobacterium tumefaciens* et persiste après que celle-ci a disparu des tissus.

Les tissus tumoraux d'origine virologique, par exemple, ceux des tumeurs provoquées par le virus *Aureogenus magnivena*, et les tissus tumoraux d'origine génétique tels que ceux des néoplasmes produits spontanément par l'hybride *Nicotiana glauca* × *N. langsdorffii* présentent le même caractère. Ici encore les cellules qui subissent la transformation tumorale deviennent autotrophes à l'auxine.

Un phénomène identique peut être obtenu lorsqu'on cultive des tissus normaux. Il arrive que des colonies normales plus ou moins complètement hétérotrophes à l'auxine soient capables au bout de quelques repiquages de se passer de substances de ce type et deviennent même tout à fait insensibles à l'égard de leurs propriétés stimulantes. Nous avons donné à cette transformation le nom d'anergie à l'auxine (du grec *an*: privatif et *ergon* action). Cette autotrophie à l'auxine n'est d'ailleurs qu'un des aspects du phénomène d'anergie, car les tissus anergiés diffèrent des tissus normaux par d'autres caractères; c'est ainsi qu'ils sont translucides et friables et sont généralement incapables de produire des organes. Ils présentent des propriétés tumorales indéniables qui s'expriment par le fait qu'ils produisent des tumeurs lorsqu'on les greffe sur des plantes saines.

On connaît encore d'autres cas de réduction des besoins nutritifs concernant par exemple les vitamines. C'est ainsi que les tissus de saule qui ont besoin d'acide pantothénique au début de la culture, sont capables de s'en passer après avoir subi quelques repiquages.

Je bornerai là cet exposé qui, vous avez pu vous en rendre compte, a négligé de nombreux aspects de la culture des tissus végétaux. C'est qu'en effet son domaine est devenu si vaste qu'il n'est pas possible d'en donner brièvement une vue d'ensemble. Je souhaite que le choix que j'ai dû faire parmi d'innombrables résultats ait cependant précisé d'une manière suffisante les lignes essentielles et les possibilités de ce nouveau chapitre de la biologie végétale.

# Elektronische Rechenautomaten als Beispiel zur allgemeinen Kybernetik

Von

Prof. E. STIEFEL

Institut für angewandte Mathematik der ETH

Wenn jemand an einer Straßenecke ein Zwanzigrappenstück in einen Automaten wirft, um eine gewünschte Ware in Empfang zu nehmen, so denkt er wohl kaum daran, daß er damit den primitivsten Vertreter einer Entwicklungsreihe vor sich hat, die weiter über automatische Telephonzentralen, automatische Piloten von Flugzeugen und moderne elektronische Rechenmaschinen vielleicht hinauf bis zu den lebenden Organismen führt. Alle diese Einrichtungen tragen folgende gemeinsame Züge:

Auf einen äußern Reiz her, genannt Eingang oder *input* (Einwerfen des Geldstücks), wird eine Kette von mechanischen, elektrischen oder physiologischen Vorgängen ausgelöst, die ohne Beeinflußbarkeit von außen abläuft und nach einem gewissen Zeitverzug zu einem Resultat, dem Ausgang oder *output*, führt. Derselbe Automat ist dabei oft verschiedener Abläufe fähig, von denen einer vorher durch ein *Programm* ausgewählt werden kann. Bei unserem Warenautomaten zum Beispiel kann der output wahlweise eine Tafel Schokolade oder eine Schachtel Zigaretten sein.

In struktureller Hinsicht besteht ein Automat aus vielen gleichartigen, aber einfachen Elementen. In einer Telephonzentrale finden wir viele identische elektrische Schalter (Relais, Schrittschalter) und in einem Lebewesen viele gleichgebaute Nervenzellen. Es genügt für uns, von Feinheiten abzusehen und anzunehmen, daß jedes dieser Elemente nur zwei Zustände annehmen kann, die wir mit 0 und 1 bezeichnen. Ein Schalter steht entweder auf «ein» (1) oder «aus» (0), ein Neuron, d. h. eine Nervenzelle gibt entweder einen Reiz ab (1) oder nicht (0). Das Abgeben eines Reizes durch ein Neuron bezeichnen wir auch als «feuern». Die Vielfalt der Programme, nach denen ein Automat ablaufen kann, ist einzig bedingt durch die große Zahl von Elementen und durch die Mannigfaltigkeit der zwischen ihnen herstellbaren Verbindungen, die durch mechanische Kupplungen und Getriebe, durch elektrische Drähte oder – im physiologischen Fall – durch Nerven realisiert sind.

Die ziemlich alte Wissenschaft vom Bau von Automaten wird neuerdings als Kybernetik oder Steuermannskunst bezeichnet. Hier finden wir Logistik, Mathematik, Elektronik und Servotechnik und schließlich Neurophysiologie bei der Zusammenarbeit. Wir könnten unsere Terminologie irgend einem dieser Wissensgebiete entlehnen. Wenn wir im folgenden eine physiologische Terminologie benutzen, so soll dies nicht die Vorstellung erwecken, daß die geschilderten Vorgänge, zum Beispiel im menschlichen Gehirn, wirklich so ablaufen. Die physiologische Sprache ist vielmehr ganz besonders konstruktiv und setzt die zweifellos vorhandene Analogie zwischen den Automatismen in Maschinen und in lebenden Organismen in Evidenz.

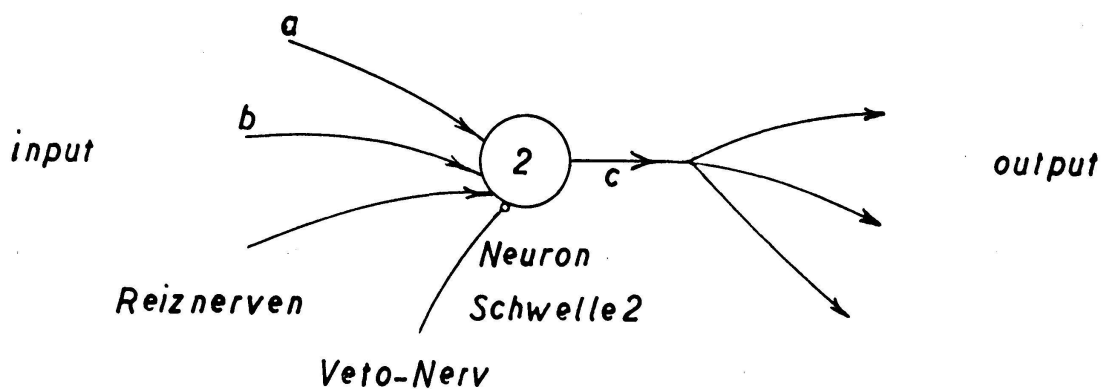


Fig. 1

In funktioneller Hinsicht soll unser Neuron folgendermaßen arbeiten (Fig. 1). Es wird in seiner Ruhe aufgeschreckt, wenn die ankommenden Nerven *a*, *b*, usw. Reize führen. Es soll nach einem Zeitverzug diesen Reiz in den output *c* weiterleiten, falls eine gewisse Reizschwelle erreicht oder überschritten wird. Um genauer erklären zu können, haben wir in Fig. 1 ein Neuron mit der Schwellenzahl 2 gezeichnet. Dieses Neuron feuert dann, und nur dann, wenn mindestens zwei der input-Nerven gleichzeitig reizen. Nehmen wir etwa an, daß die Nerven *a*, *b* Reize führen können, aber der dritte gezeichnete Nerv stillliegt, so kann also das Funktionieren des Neurons durch folgende Tabelle charakterisiert werden.

| Input |   | Output |
|-------|---|--------|
| a     | b |        |
| 0     | 0 | 0      |
| 0     | 1 | 0      |
| 1     | 0 | 0      |
| 1     | 1 | 1      |

Der Logistiker erkennt hier die logische Verknüpfung «und» des Aussagenkalküls. Im output tritt eben ein Impuls auf, wenn *a und b* Impulse führen. Ein Neuron mit der Schwellenzahl 1 entspricht der logischen Verknüpfung «oder». Allgemein feuert ein Neuron mit der Schwellenzahl *n* dann (und nur dann), wenn mindestens *n* ankommende Nerven reizen.

Das Neuron wird außerdem durch Vetonerven gesteuert, indem ein in einem Vetonerv eintreffender Reiz das Feuern des Neurons unter allen Umständen verhindert. Logisch ist dies natürlich einfach die Negation. Von einem hochgezüchteten Automaten werden wir nun verlangen müssen, daß erstens in seinen Nerven beliebig komplizierte Information weitergeleitet werden kann und daß zweitens aus den eben besprochenen elementaren Verknüpfungen von Informationen durch ein einzelnes Neuron sich beliebig komplizierte Verknüpfungen aufbauen lassen, also zum Beispiel die arithmetischen Operationen der Addition und Multiplikation.

Beim ersten Wunsch brauchen wir nicht zu verweilen. In der Tat ist es ja jedermann geläufig, daß eine gegebene Mitteilung in Morseschrift geschrieben werden kann, also mit Hilfe der beiden einzigen Zeichen «Punkt» und «Strich» ausdrückbar ist. Wir verwenden statt dessen hier unsere Zeichen 0 und 1. Zum Beispiel schreibt man die Dezimalzahlen von 0 bis 9 zweckmäßig folgendermaßen, jede als Gruppe von vier Zeichen (Tetrade). Man denke sich jedes Gewicht von 0 bis 9 kg zusammengesetzt mit Hilfe eines Satzes von vier Gewichtssteinen, die 1, 2, 4 und 8 kg wiegen. Dann erhält man folgende Tabelle.

|   | Gewichte |   |   |   |   | Gewichte |   |   |   |
|---|----------|---|---|---|---|----------|---|---|---|
|   | 8        | 4 | 2 | 1 |   | 8        | 4 | 2 | 1 |
| 0 | 0        | 0 | 0 | 0 | 5 | 0        | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0        | 0 | 0 | 1 | 6 | 0        | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 0        | 0 | 1 | 0 | 7 | 0        | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0        | 0 | 1 | 1 | 8 | 1        | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0        | 1 | 0 | 0 | 9 | 1        | 0 | 0 | 1 |

Zum Beispiel 7 setzt sich zusammen aus einem Einer, einem Zweier, einem Vierer und Null Achtern. Wie man sieht, kommt man mit den Zeichen 1 und 0 aus, je nachdem, ob der betreffende Gewichtsstein benutzt werden muß oder nicht. Dieses sogenannte Dualsystem ist besonders zweckmäßig, da man mit den Tetraden leicht rechnen kann.

Was den zweiten Wunsch – die Verarbeitung von Informationen – betrifft, so muß erwähnt werden, daß die Logistiker sehr genau untersucht haben, welche Resultate man aus gegebenen Größen rein durch öftere Anwendung der Grundverknüpfungen «und», «oder», «nein» bilden kann. Es handelt sich um den sogenannten Aussagenkalkül in der Ter-

minologie des bekannten Büchleins von HILBERT und ACKERMANN<sup>1</sup>. Es liegt auf der Hand, daß die Gesamtheit der erreichbaren Resultate nur einen Teil dessen ausmacht, was wir vom menschlichen Denken her gewohnt sind. Zum Beispiel ist dem Automaten der Begriff des Kontinuums völlig fremd, er ist *ex definitione* diskret organisiert. (Ein Kontinuum ist zum Beispiel die Menge aller Punkte einer Strecke.) Oder, um es mathematisch auszudrücken, ein Automat kann mit 10stelligen Zahlen rechnen. Da jede Dezimale als Tetrade geschrieben wird, braucht man dann pro Zahl 40 Zeichen. Aber kein Automat kann mit beliebig viestelligen Zahlen rechnen. Jedes Rechenresultat ist daher mit Rundungsfehlern behaftet.

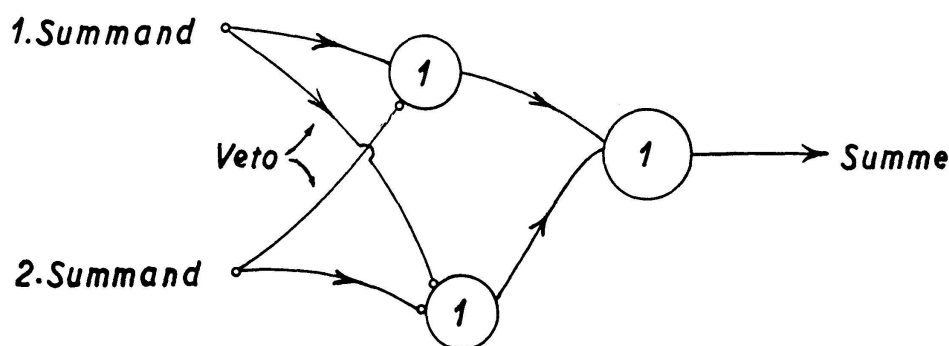


Fig. 2

Immerhin umfaßt die Gesamtheit der erreichbaren Resultate die elementare Arithmetik, wie nun gezeigt werden soll. Um zwei Tetraden zu addieren, benutzt man die geläufige Methode der schriftlichen Addition unter Beachtung der Regeln:

$0+0 = 0$ ,  $0+1 = 1$ ,  $1+0 = 1$ ,  $1+1 = 0$  und Übertrag auf die vorhergehende Stelle.

|                 |  |
|-----------------|--|
| Also etwa $4+5$ | $4 = 0 \ 1 \ 0 \ 0$<br>$5 = 0 \ 1 \ 0 \ 1$<br><hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $1$<br>$1 \ 0 \ 0 \ 1 = 9$     |
| Überträge       | $1$  |
| Resultat        | $1 \ 0 \ 0 \ 1 = 9$  |
| oder $2+7$      | $2 = 0 \ 0 \ 1 \ 0$<br>$7 = 0 \ 1 \ 1 \ 1$<br><hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $1 \ 1$<br>$1 \ 0 \ 0 \ 1 = 9$ |
| Überträge       | $1 \ 1$  |
| Resultat        | $1 \ 0 \ 0 \ 1 = 9$  |

Um unseren Beweis zu Ende zu führen, müssen wir nur zeigen, daß die Additionsregeln durch Neuronen realisiert werden können. Figur 2 zeigt eine mögliche Schaltung, die aus drei Neuronen mit der Schwellenzahl eins besteht, wobei allerdings der Übertrag aus Gründen der Übersicht außer acht gelassen wurde. In der Tat: Ist etwa der obere Summand 1

<sup>1</sup> D. HILBERT, W. ACKERMANN: Grundzüge der theoretischen Logik, 2. Aufl. Berlin 1938.

und der untere 0, so feuert das obere Neuron, und sein auslaufender Reiz veranlaßt das rechte Neuron zum Feuern, so daß dessen output 1 wird ( $0+1=1$ ). Sind aber beide Summanden 1, so verhindern die Vetonerven jede Tätigkeit ( $1+1=0$ ). Sind endlich beide Summanden 0, so kommen überhaupt keine Reize an ( $0+0=0$ ).

Um endlich Automaten zu bauen, müssen Neuronen durch mechanische oder elektrische Elemente realisiert werden. Eine naheliegende Möglichkeit ist die Doppeltriode, d. h. eine Elektronenröhre mit zwei Gittern. Die ankommenden Reize sind hier die Spannungen an den Gittern, welche den Anodenstrom als output steuern. Aber auch Kristalldioden und Transistoren lassen sich verwenden. Es ist wohl klar, daß die so geschaffene Technik äußerst flexibel ist, indem durch einfaches Zu-

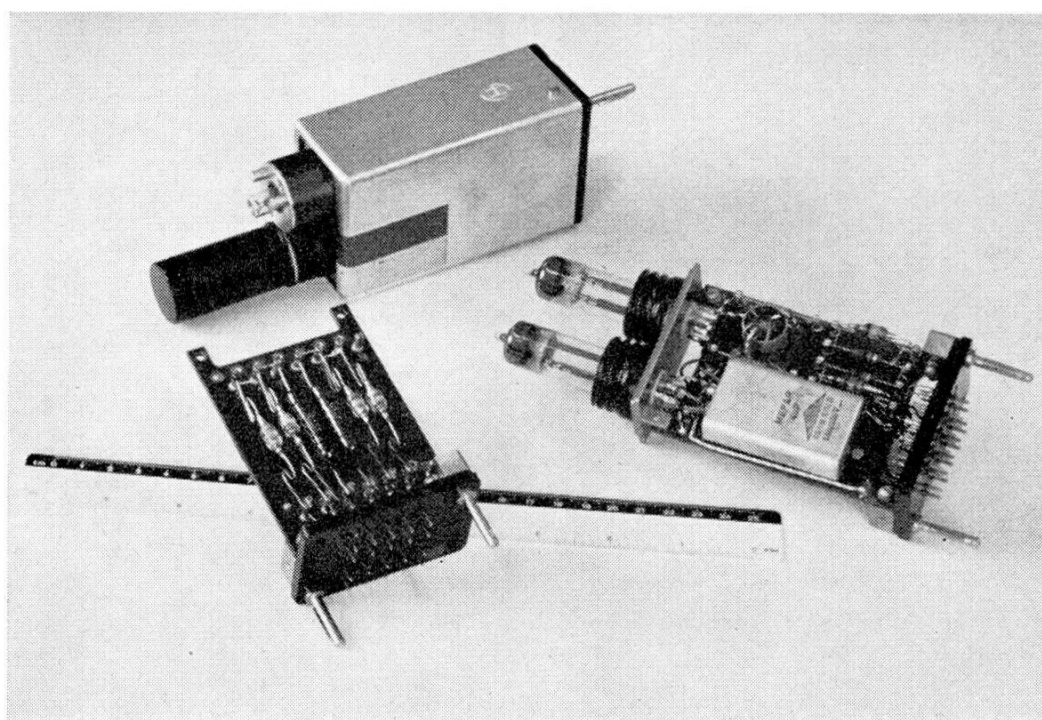


Fig. 3

sammenschalten von fertig fabrizierten Elementen Automaten für die verschiedensten Zwecke gebaut werden können.

In Figur 3 ist ein solches normalisiertes Element zu sehen, wie es im Rechenautomat ERMETH (elektronische Rechenmaschine der ETH) verwendet wird, der von den Ingenieuren unseres Instituts geplant und entworfen und von schweizerischen Firmen gebaut wurde. Er soll im Jahre 1956 anlaufen. Man erkennt die beiden Elektronenröhren und verschiedene Kristalldioden sowie Zusatzeinrichtungen, wie Widerstände und Kondensatoren.

Diese Elemente sind nun im Rechenautomaten zu größeren funktionellen Organismen zusammengefaßt. Figur 4 zeigt das *Rechenwerk* und das *Leitwerk*. Beide bestehen aus vielen derartiger normalisierter Elemente, die in Schränken angeordnet sind. Das Rechenwerk addiert,

multipliziert und dividiert elfstellige Zahlen, und zwar macht es etwa 200 Additionen pro Sekunde. Um das Leitwerk zu erklären, muß an den in der Einleitung eingeführten Begriff des Programms angeknüpft werden. Dies geschieht am besten, indem ein konkretes mathematisches Problem zugrunde gelegt wird. Es wurde uns vom Institut für physikalische Chemie der ETH die Aufgabe vorgelegt, die Funktion

$$E(x, y) = 2 - 4 \int_0^1 e^{-xt} \cos(yt) \cdot t \cdot dt$$

auszuwerten. Es handelt sich also um eine Funktion von zwei Variablen, d. h. zu jedem Wertepaar  $x, y$  gehört ein Funktionswert  $E$ .

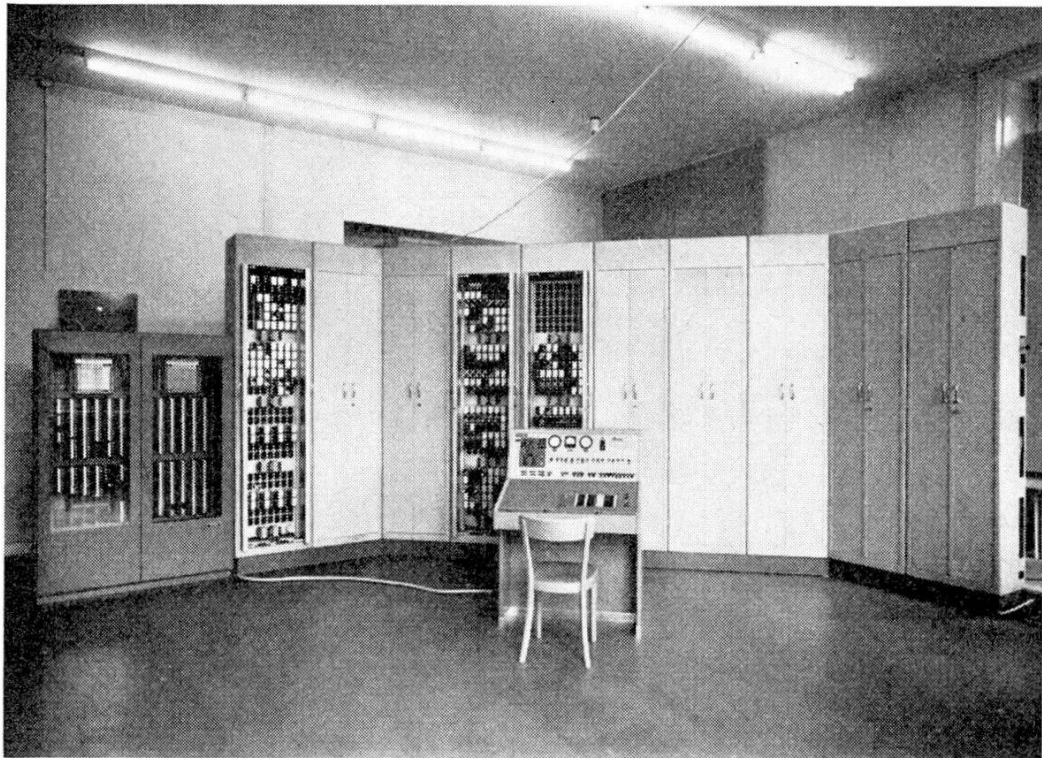
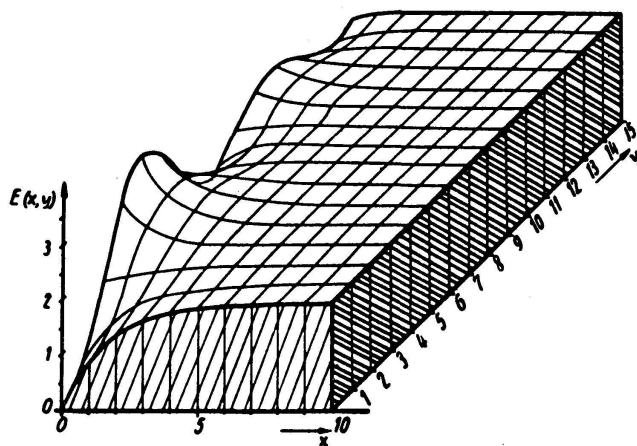


Fig. 4

Die Figur 5 zeigt das Resultat der Berechnung in einer Reliefdarstellung. Das Entscheidende ist, daß der Rechengang (nämlich die Berechnung des Integrals) für jede Wahl des Paares  $(x, y)$  derselbe ist. Dieser Rechengang wird vom Mathematiker festgelegt und auf einem Lochstreifen oder auf Lochkarten als Rechenprogramm festgehalten. Dabei wird die Integration natürlich durch eine Summation angenähert. Der Lochstreifen wird vom Leitwerk des Automaten abgetastet, und das Leitwerk veranlaßt bei jeder einzelnen Abtastung das Rechenwerk zur Ausführung der betreffenden arithmetischen Grundoperation. Das Rechenprogramm läuft nun so oft ab, wie Wertepaare  $x, y$  gegeben sind. Aus Figur 5 ergeben sich  $10 \times 15 = 150$  Abläufe.

Diese Steuerung von Automaten durch Programme bietet nun ungeahnte Möglichkeiten, die sich durchaus nicht auf Rechenautomaten beschränken, sondern auch zur Steuerung irgendwelcher Arbeits- und Fabrikationsvorgänge verwendet werden können. Als Beispiel sei etwa der von Prof. WEBER an der ETH entwickelte Automat erwähnt, der zur Infusion von Flüssigkeiten in die Blutbahn eines Kranken dient. Um all dies näher auseinanderzusetzen, gehen wir wieder von unserem mathematischen Beispiel aus.

Unter dem Integral tritt ein Cosinus auf. Der Automat liest nun nicht etwa diesen Cosinus aus einer Tabelle ab, sondern er berechnet ihn auch. Zu diesem Zweck steht in einer Bibliothek von Programmen ein für allemal ein Programm zur Berechnung des Cosinus eines Winkels zur



$$E(x, y) = 2 - 4 \int_0^1 e^{-xt} \cos(yt) \cdot t \cdot dt$$

Fig. 5

Verfügung. Es wird als *Unterprogramm* in das *Hauptprogramm* (Auswertung des Integrals) eingefügt. Figur 6 illustriert diesen Vorgang an einem älteren Automaten, den wir in den letzten fünf Jahren betrieben haben. Im rechten Abtaster liegt das Hauptprogramm und im linken das Programm zur Berechnung des Cosinus. Das Hauptprogramm enthält an einer Stelle den Befehl an die Maschine, das Unterprogramm einzuschalten; in diesem Moment bleibt der rechte Streifen stehen, und der linke beginnt zu laufen.

Diese Organisation erlaubt es, der Maschine eine gewisse Handlungsfreiheit einzuräumen. Zum Beispiel kann bei den meisten mathematischen Problemen das Schlußresultat durch zwei verschiedene Rechenprozesse (Algorithmen) erreicht werden. Man gibt nun von vornherein beide Programme in den Automaten und läßt ihn etwa unter Benutzung des ersten Programms die Rechnung beginnen.

Es ist möglich, daß dabei eine Störung auftritt oder ein Rechenfehler durch die internen Kontrollen aufgedeckt wird. Automatisch springt dann die Maschine auf das zweite Programm, bei dessen Durchrechnung vielleicht alles glatt geht. Es ist also wichtig, festzuhalten, daß die Abläufe in einem Automaten nicht von vornherein eindeutig bestimmt zu sein brauchen, sie können vielmehr von den Erfahrungen abhängig gemacht werden, die der Automat selbst während seiner Tätigkeit macht. Wie ein Lebewesen kann er erkrankte Organe durch andere ersetzen. Man kann sogar sogenannte diagnostische Programme herstellen, die beim Durchrechnen das gestörte Element lokalisieren.

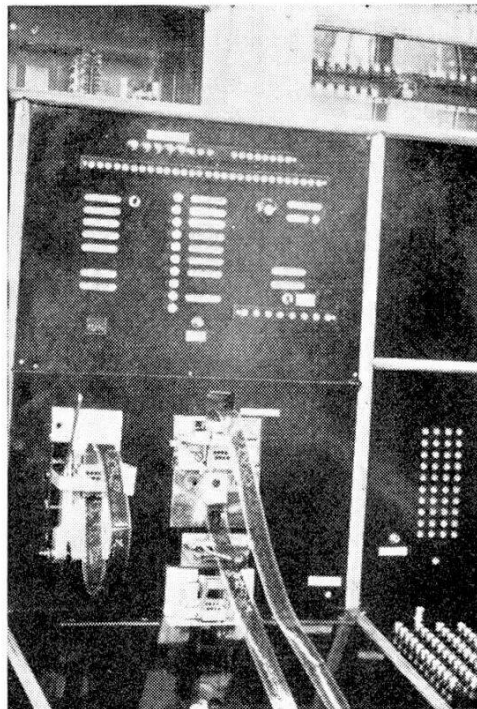


Fig. 6

Ein weiteres wichtiges Organ eines Automaten ist das *Speicherwerk* oder Gedächtnis. Die bei den einzelnen arithmetischen Operationen anfallenden Teilresultate müssen eben irgendwo protokolliert werden, um später der Rechnung wieder zugeführt zu werden. Man verwendet hier geläufige technische Methoden zur Speicherung von Information. Wie zum Beispiel Musik auf magnetischen Bändern aufgeschrieben und wieder zurückgespielt werden kann, so kann man auch Zahlen und Tetraden auf magnetischen Schichten festhalten. Gewöhnlich verwendet man schnell rotierende Trommeln mit magnetisierbarer Oberfläche.

Die Verwendbarkeit von Rechenautomaten für wissenschaftliche und technische mathematische Arbeiten ist praktisch unbegrenzt. Es sei nur ein Beispiel herausgegriffen (Abb. 7). Es handelt sich um eine automatisch gesteuerte Leitstrahlrakete und speziell um die Untersuchung der Stabilität dieser Steuerung. Es soll also festgestellt werden,

ob die Rakete nach Ausweichen aus dem Leitstrahl ruhig in ihn zurückgesteuert wird oder unruhig um ihn hin und her pendelt. Das Problem führt auf sechs Differentialgleichungen, die auf unserem alten Rechenautomaten gelöst wurden. In der Figur sind die Steuerausschläge als Funktion der Zeit aufgetragen, und man erkennt, wie sie abklingen. Das Beispiel öffnet interessante Perspektiven. Es hat nämlich ein erster Automat (der Rechenautomat) zur Schaffung des zweiten Automaten (Steuerautomaten) beigetragen. Sollen wir dies eine Fortpflanzungsfähigkeit nennen?

*Numerische Integration eines Systems*

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ (x_1 =) \dot{x}_2 &= f_0 x_2 + f_1 x_3 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ (\ddot{x}_3 =) \dot{x}_4 &= f_2 x_2 + f_3 x_3 + f_4 x_6 \\ \dot{x}_5 &= f_5 \cdot x_1 + f_6 x_2 + c_7 x_5 \\ \dot{x}_6 &= c_8 x_5 + c_9 \cdot x_6 \\ f_0 - f_6 &= \text{Funktionen von } t \\ c_7 \ c_8 \ c_9 &= \text{konst.} \\ \text{Anfangsbed.: } x_1(0) &= 50 \\ x_2 = x_3 = \dots = x_6 &= 0 \end{aligned}$$

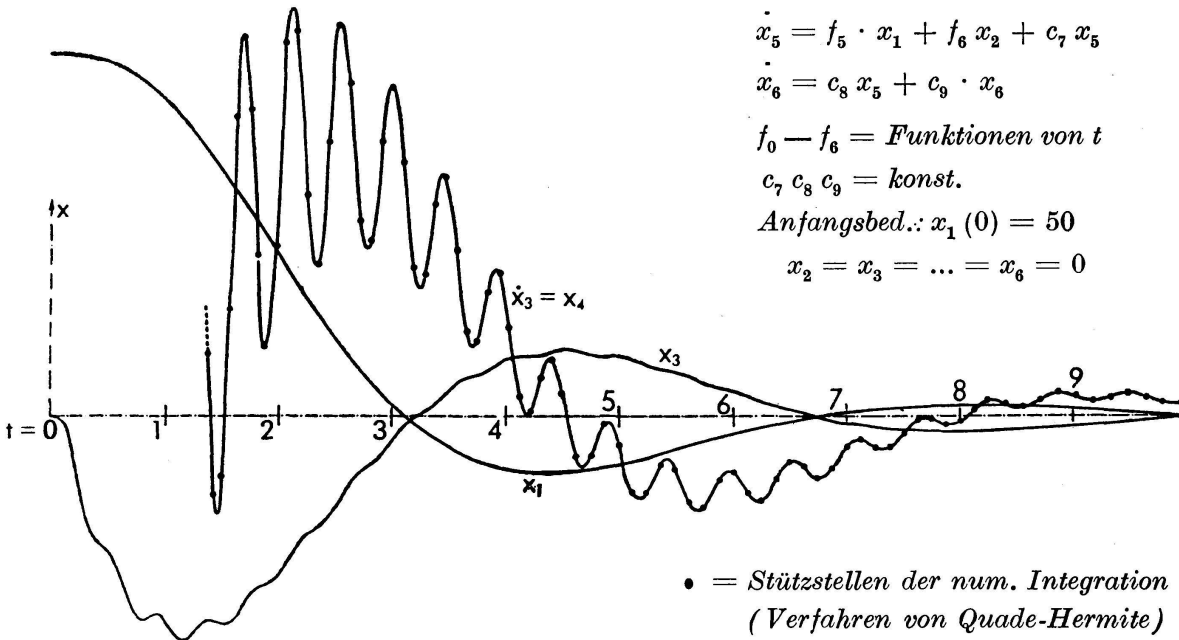


Fig. 7

Es seien nur noch ohne weitere Erklärung einige Anwendungsbeispiele aus unseren Archiven zitiert, die in unserem Institut in den letzten Jahren mathematisch bearbeitet, programmiert und automatisch durchgerechnet worden sind.

Lösung von algebraischen Gleichungen für Frequenzuntersuchungen im Molekülbau, Störungsrechnungen in der Himmelsmechanik (interessant im Hinblick auf die Astronautik); kritische Drehzahlen von rotierenden Wellen im Maschinenbau, Berechnung der elastischen Spannungen in Brücken, Tragflügeln und Talsperren, Flattern von Tragflügeln im Flugzeugbau, Flugbahnen von Geschossen.

Der Einsatz von Automaten hat rückwirkend auch die Methoden der Mathematik beeinflusst und damit auch der Mathematik neue For-

schungsgebiete eröffnet. Nur eine kleine Kostprobe dazu! Das Problem der Diffusion eines Gases durch eine halbdurchlässige Wand kann mit klassischen mathematischen Methoden so gelöst werden, daß man die sogenannte partielle Differentialgleichung der Wärmeleitung löst. Oft sind aber diese klassischen Methoden nicht die besten für den Automaten, sondern es ist geschickter, auf die eigentliche Wurzel des physikalischen Vorgangs zurückzugreifen, welche im vorliegenden Fall durch die kinetische Gastheorie gegeben ist. Man reproduziert also im Automaten die Stoßvorgänge der einzelnen Moleküle untereinander und mit der Wand unter Benutzung eines speziellen Organs, das Zufallszahlen erzeugt.

Was hier für Rechenmaschinen auseinandergesetzt wurde, ist typisch für die ganze Familie der Automaten. Ob bei den lebenden Organismen noch etwas wesentlich Neues hinzukommt – das wir eben Leben nennen – wagt der Kybernet nicht zu entscheiden. Es scheint nur im Zuge der fortschreitenden Technik der Automaten immer schwieriger zu werden, die Grenze zu ziehen, d. h. Merkmale anzugeben, die für das Leben charakteristisch sind. In der Tat haben wir ja unseren Automaten Fähigkeiten erteilen können, die dem gleichen, was wir etwa als Handlungsfreiheit, Entschlußfähigkeit, Selbsterhaltung und Fortpflanzung bezeichnen. Der naheliegende Einwand, daß ein Automat immer von einem höheren Wesen – nämlich vom menschlichen Gehirn – geschaffen wird, das alle seine Abläufe in ihren feinsten Variationen voraussieht, ist kaum stichhaltig. Denn offensichtlich verläßt man damit den Boden der Naturwissenschaften und begibt sich auf die höhere Ebene, wo das Problem auftaucht, welches höhere Wesen das menschliche Gehirn erschaffen hat.

# La légende de l'Atlantide de Platon devant la science

Par

ARNOLD BERSIER (Lausanne)

Le patrimoine traditionnel de l'humanité, qui s'est peu à peu fixé dans les écrits sacrés, les Cosmogonies et Mythologies, contient maints récits qui frappent l'imagination et l'attirent mystérieusement. Souvent ils provoquent le doute, car on les suspecte d'avoir, à travers le temps, déformé et trahi ce qu'ils prétendent relater. Souvent aussi leur interprétation suscite des recherches et des commentaires passionnés. Le récit de l'Atlantide est de ceux-là. Il a sur beaucoup d'autres un avantage certain, c'est que son transcripteur nous est cette fois bien connu : c'est Platon ; et sans lui nous n'aurions jamais entendu parler de l'Atlantide, de cette terre prodigieuse et énigmatique disparue depuis plus de 12 000 ans.

Mais Platon était philosophe et non historien. Son récit n'a donc ni la netteté, ni les nuances d'une chronique. Il nous le donne sous une forme mythique qui constitue son principal attrait, mais qui complique singulièrement son authentification et son interprétation.

Selon son habitude, Platon nous le livre sous forme de Dialogues. Il fait converser des interlocuteurs qui, au cours de la discussion, sont chargés de faire entendre sa propre pensée. C'est au cours de deux dialogues successifs, qui portent le nom de certains des interlocuteurs : le *Timée*, puis le *Critias*, que sont révélées l'existence d'abord, puis la description de l'Atlantide. Ces deux écrits sont parmi les derniers de Platon ; il les a rédigés vers la fin de sa vie, aux environs de l'an 350 avant J.-C.

Il vaut la peine de s'arrêter un peu à la forme du dialogue et à la façon dont l'Atlantide y surgit, car là, déjà, commence le problème.

De son défunt maître Socrate, Platon fait le principal interlocuteur, les trois autres étant Hermocrate, Timée et Critias. Ces quatre personnages discutent de l'organisation parfaite de l'Etat. Ils en ont posé les principes ; et Socrate demande aux autres un motif, un thème permettant de mettre cette organisation en mouvement, en fonctionnement et à l'épreuve. C'est alors que Critias propose l'Atlantide, non point sans doute comme un modèle d'Etat, mais plutôt comme un Etat jadis modèle, puis dégénéré, entré en lutte avec un autre Etat, supérieurement organisé et qui l'a vaincu. Ce vainqueur est une Athènes

antique, que Platon voulait probablement opposer à l'Athènes corrompue de son temps, responsable d'avoir fait boire la ciguë à son maître Socrate. Mais à vrai dire, et malgré l'ardeur que les critiques ont mis à la dépister, nous ne discernons pas avec sûreté l'intention exacte de Platon faisant intervenir l'Atlantide dans ses derniers dialogues, car le discours atlantique est inachevé...

Cette histoire de l'Atlantide, il la met donc dans la bouche du jeune Critias, qui nous apprend en commençant que son aïeul, Critias l'Ancien, avait 90 ans quand, un jour de fête, il la lui a racontée, à lui qui n'avait que dix ans. Et l'histoire l'a si fort frappé qu'elle a conservé, dans sa mémoire, malgré son extrême longueur, la fraîcheur et la solidité des souvenirs d'enfance. Critias l'Ancien, lui, la tenait de la bouche même de Solon, le législateur d'Athènes et l'un des sept sages de Grèce, qui l'avait rapportée d'Egypte aux alentours de l'an 600 avant J.-C.

Les voyages de Solon l'avaient effectivement conduit en Egypte, voyage que Platon lui-même, d'ailleurs, avait refait. Et là, dans la petite ville de Saïs, dans le delta du Nil, Solon s'était entretenu avec les prêtres égyptiens, gardiens des plus anciennes traditions, et avait tenté de leur raconter ce que les Grecs savaient de plus ancien. Mais l'un des vieux prêtres se rit de lui... «Vous, les Grecs, vous n'êtes que des enfants...» et lui explique qu'ils ne peuvent connaître grand-chose de leurs origines. Car les ancêtres des Grecs ont été détruits plusieurs fois par les sécheresses et les déluges, et les rares survivants sont morts sans avoir su s'exprimer par écrit. En Egypte, au contraire, la terre est assez humide pour préserver les hommes de la sécheresse. Ils y sont aussi à l'abri des eaux, qui ne descendent pas des hauteurs, mais sourdent de la terre. Remarquons déjà que ces traits correspondent assez bien, d'une part avec les conditions géographiques du delta égyptien, d'autre part avec les derniers bouleversements du sol en Grèce et en Egée, que la géologie nous révélera tout à l'heure. C'est pour cela que les plus anciennes traditions ont pu se maintenir en Egypte, dit le prêtre, qui révèle alors à Solon les hauts faits de ses plus lointains concitoyens d'il y a 9000 ans. Et voici, traduit par Albert Rivaud, le passage du *Timée* relatif à l'Atlantide :

«Nombreux et grands furent vos exploits et ceux de votre cité: ils sont ici par écrit et on les admire. Mais un surtout l'emporte sur tous les autres en grandeur et en héroïsme. En effet, nos écrits rapportent comment votre cité anéantit jadis une puissance insolente qui envahissait à la fois toute l'Europe et toute l'Asie et se jetait sur elles du fond de la mer Atlantique.

«Car, en ce temps-là, on pouvait traverser cette mer. Elle avait une île devant ce passage que vous appelez, dites-vous, les colonnes d'Hercule. Cette île était plus grande que la Libye et l'Asie réunies. Et les voyageurs de ce temps-là pouvaient passer de cette île sur les autres îles, et de ces îles, ils pouvaient gagner tout le continent, sur le rivage opposé de cette mer qui méritait vraiment son nom. Car, d'un côté, en dedans de ce détroit dont nous parlons, il semble qu'il n'y ait qu'un havre au goulet

«resserré, et de l'autre, au dehors, il y a cette mer véritable et la terre qui  
«l'entoure et que l'on peut appeler véritablement, au sens propre du terme,  
«un continent. Or, dans cette île Atlantide, des rois avaient formé un  
«empire grand et merveilleux. Cet empire était maître de l'île tout entière  
«et aussi de beaucoup d'autres îles et de portions du continent. En outre,  
«de notre côté, il tenait la Libye jusqu'à l'Égypte et l'Europe jusqu'à la  
«Tyrrhénie. Or, cette puissance, ayant une fois concentré toutes ses forces,  
«entreprit, d'un seul élan, d'asservir votre territoire et le nôtre et tous  
«ceux qui se trouvent de ce côté-ci du détroit. C'est alors, ô Solon, que la  
«puissance de votre cité fit éclater aux yeux de tous son héroïsme et son  
«énergie. Car elle l'a emporté sur toutes les autres par la force d'âme et par  
«l'art militaire. D'abord à la tête des Hellènes, puis seule par nécessité,  
«abandonnée par les autres, parvenue aux périls suprêmes, elle vainquit  
«les envahisseurs, dressa le trophée, préserva de l'esclavage ceux qui  
«n'avaient jamais été esclaves, et, sans rancune, libéra tous les autres  
«peuples et nous-mêmes qui habitons à l'intérieur des colonnes d'Hercule.  
«Mais, dans le temps qui suivit, il y eut des tremblements de terre effroya-  
«bles et des cataclysmes. Dans l'espace d'un seul jour et d'une nuit ter-  
«ribles, toute votre armée fut engloutie d'un seul coup sous la terre, et  
«de même l'île Atlantide s'abîma dans la mer et disparut. Voilà pour-  
«quoi, aujourd'hui encore, cet océan de là-bas est difficile et inexplorable,  
«par l'obstacle des fonds vaseux et très bas que l'île, en s'engloutissant,  
«à déposés.»

Le lendemain la conversation reprend entre les mêmes interlocuteurs. Elle fera l'objet du second dialogue, dit le *Critias* ou le Récit atlantique, parce que Critias y prend presque seul la parole pour décrire ce qu'était l'Atlantide, selon le récit fait par Solon à son grand-père. Ce qu'il en dit est fort long, et dépasse assurément, en longueur et en complexité, les possibilités de mémorisation de l'enfant de dix ans le mieux doué.

En voici l'essentiel. Quand les dieux se partagèrent la Terre, l'île Atlantide revint à Poséidon (ou Neptune) dieu de la mer, qui la légua à ses descendants. A l'aîné, Atlas, échut la meilleure part, et l'île et la mer environnante reçurent son nom.

Toute l'île dominait la mer à pic. En son centre se dressait une montagne isolée par des enceintes de mer et de terre, couronnes circulaires reliées à la mer par un canal. Une plaine les environnait, entourée elle-même d'un large canal artificiel long de 10 000 stades (2000 km). Plus loin dans l'île, des montagnes s'élevaient, plus belles et grandes que toutes celles que l'on connaît. D'immenses travaux hydrauliques avaient doté l'île entière de canaux et de ports animés par de nombreux bateaux.

La terre, très fertile, nourrissait toute sorte d'animaux sauvages et domestiques, entre autres l'éléphant. Les mines fournissaient en abondance les métaux utiles, le cuivre et l'étain, et les métaux précieux dont l'un, l'orichalque aux reflets de feu, le plus précieux après l'or, nous reste mystérieux et pouvait être un alliage.

Sur la montagne centrale, un immense temple à Poséidon était entièrement revêtu d'or, d'orichalque, d'argent et d'ivoire. Des centaines de statues étaient d'or. D'autres temples ou palais de ce genre existaient en nombre, avec de somptueux thermes alimentés d'eau chaude naturelle.

Le *Critias* donne aussi une foule de renseignements sur les rites sacrés et sur l'organisation civile et militaire de l'Etat, qui laissent entrevoir l'immensité de l'Atlantide. Sa prospérité était non moins immense. Mais les hommes, étant descendants du dieu Poséidon, étaient attachés au principe divin dont ils étaient issus, et par cela même vertueux et bons, ils dédaignaient leurs richesses.

Quand ce principe vint à diminuer en eux par leurs mariages successifs avec des éléments mortels, ils s'attachèrent au contraire par trop à leurs biens et devinrent avides et conquérants. C'est alors que Zeus, le dieu des dieux, voyant quelles dispositions misérables prenait cette race jadis excellente, décida de la punir. Mais le *Critias* est inachevé et le récit s'arrête avant la punition... qui fut sans doute la défaite devant les anciens Grecs, et l'engloutissement de l'île, rapportés succinctement dans le dialogue précédent.

Les deux dialogues sont donc fort différents. Le premier, le *Timée*, suscite la confiance. Le second, avec son étrange et volumineuse documentation, sa prolixité de détails, fait naître la réserve et le doute. Ce qu'il nous apprend de l'île avec son prodigieux développement architectural et métallurgique paraît si anachronique, si différent de ce que nous savons de l'humanité qui ailleurs, à cette époque, n'en était qu'à la pierre polie, et encore ! Comment ce peuple de navigateurs n'aurait-il porté sur d'autres terres encore émergées maintenant son incomparable connaissance des métaux !

Plusieurs critiques, Albert Rivaux le premier, ont fait remarquer que tous les éléments qu'il amalgame dans sa description de l'Atlantide, Platon pouvait les trouver autour de lui. Son temple de Poséidon, sur la montagne, est une réplique de la colline de l'Acropole avec ses palais. Tout près d'Athènes, au Pirée, il a pu s'inspirer des grands travaux hydrauliques du port, de son arsenal aux grandes portes blindées de bronze, merveilles des ingénieurs de son époque. L'ancienne civilisation maritime de l'île de Crète, centre du travail du cuivre et du bronze, peut se reconnaître en bien des points de sa narration. Tout est plus grand et plus nombreux en Atlantide, mais tout, jusqu'aux mœurs et aux rites sacrés, y reflète les civilisations de la Méditerranée orientale connues de Platon.

Le *Critias* laisse donc incoerciblement supposer qu'il est une construction utopique, un merveilleux assemblage dialectique habilement greffé sur le tronc plus solide de la tradition égyptienne rapportée dans le *Timée*. Comment un enfant de dix ans, un jour de fête où tant d'autres choses devaient accaparer sa puérile attention, aurait-il pu retenir tous les détails compliqués de caractère historique et politique qui alourdissent le *Critias* ?

On éprouve en vérité de la peine à se défendre contre l'impression que sur un récit véridique, et sur la véracité duquel Platon insiste dans le *Timée*, il cherche dans le *Critias* à façonner un mythe utilisable dans la suite du dialogue inachevé. Ne serait-ce pas pour accuser lui-même cette différence qu'il nous livre l'Atlantide en deux dialogues, alors qu'un seul pouvait suffire ?

Cette distinction, bien peu l'ont faite, de tous ceux qui ont traité de l'Atlantide. Elle paraît pourtant devoir être une des premières réactions du lecteur. Autrement dit, nous admettrons que ce que l'humanité savait encore de l'Atlantide, en Egypte ou ailleurs, au temps de Solon, ou même de Platon, se trouve dans le *Timée*, peut-être déjà amplifié, et que le *Critias* est une fiction.

Quelle que soit d'ailleurs l'interprétation donnée à l'un et l'autre dialogues, remarquons d'emblée que le caractère le plus saisissant de la tradition atlantidienne c'est son *isolement*. C'est l'absence de tout lien, si ténu soit-il, avec tout ce que nous pouvons savoir de l'antiquité.

De toutes les civilisations antiques, celle de l'Atlantide serait de beaucoup la plus ancienne, bien plus encore que celle d'Egypte, qui ne remonte péniblement qu'à 4000 ou 5000 ans av. J.-C. Contrairement à toutes les autres civilisations, égyptienne, sumérienne, chinoise, étrusque, ou américaines précolombiennes les plus reculées, celle de l'Atlantide, subitement engloutie, n'a pu nous laisser aucun vestige. Impossible, donc, de chercher à vérifier le récit platonicien par des campagnes de fouilles archéologiques, comme on le fait par exemple de la tradition assyro-babylonienne avec un si grand succès.

Mais cet isolement est plus accentué encore. Ces derniers siècles, un véritable bataillon de critiques, de mythographes et d'archéologues a recherché des survivances de cette civilisation et de ce cataclysme en Afrique et en Europe. Il n'en reste aucune. Un événement aussi frappant devrait, comme le déluge, avoir inspiré des écrits, des figurations, des légendes chez d'autres peuples. La tradition qui se conservait en Egypte aurait dû s'infiltrer, avant Platon, chez d'autres peuplades du pourtour de la Méditerranée. Il n'en est rien. Et les maigres indices qu'on a cru en retrouver, Ophir, les Hespérides, etc..., sont extrêmement discutables et fragiles.

L'égyptologie n'a jamais retrouvé les textes sacrés des prêtres de Saïs, et l'épigraphie égyptienne ne peut mentionner ni une inscription en hiéroglyphes, ni une figuration, un bas-relief quelconque, attribuables à l'Atlantide. Une seule voie étroite mène en Atlantide, elle ne passe que par Platon et elle s'arrête à lui.

Mais les hommes ont ouvert à Platon un crédit immense. Non pas tant ses contemporains, qui se sont montrés très sceptiques. Aristote, peu après Platon, a fait preuve d'une incrédulité absolue : « C'est Platon seul, nous dit-il, qui fit sortir l'Atlantide des flots, et c'est lui seul qui l'y fit rentrer. » Mais cet absolutisme se tempéra bientôt. Les néo-platoni-

ciens d'Alexandrie voulurent justifier leur maître. L'un d'eux, Crantor, refit le voyage d'Égypte et il prétendit que les prêtres lui avaient montré les stèles relatant l'histoire de l'Atlantide. Mais il ne savait pas lire les hiéroglyphes. D'autres récits se font jour après celui de Platon, parlant d'îles mystérieuses dans le mystérieux Atlantique, qui sont tous douteux, parce que de seconde main et plus ou moins teintés de réminiscences platoniciennes.

Pendant tout le moyen âge, l'influence d'Aristote est prépondérante en philosophie, son jugement prédomine, et il faut attendre la Renaissance pour voir remettre en vogue et les idées de l'antiquité et l'Atlantide. Après la découverte de Colomb, on ne manqua pas de voir en l'Atlantide la préfiguration de l'Amérique... qui pourtant n'est pas une terre disparue. Que n'a-t-on pas dit dès lors, dans la période moderne, sur elle ! Elle a suscité, de la part des spécialistes, de fort belles études historiques. Elle a déchaîné des flots d'interprétations douteuses où la pseudo-science se mêle à la mystique, à l'astrologie, à la théosophie, à l'exaltation dépourvue de toute probité intellectuelle et aux sottises qu'elle engendre, et aussi, hélas, nombre de suppositions folles, fermentées dans le cerveau d'humanistes érudits, mais que n'aère aucune culture scientifique. La bibliographie atlantidienne doit compter actuellement près de 2000 titres, avec nombre de gros volumes. Il existe en plusieurs pays : France, Angleterre, Italie, des sociétés d'études atlantidiennes dont certaines publient des revues. Chaque année le flot s'enfle de nouvelles interprétations et de nouveaux volumes dont certains, et des moins négligeables, ne sont plus consacrés à l'Atlantide elle-même, mais à l'évolution et à l'historique critique de l'idée atlantidienne, qui est en soi pleine d'intérêt.

Cette seconde submersion de l'Atlantide sous des flots d'imprimés, n'est pas, on s'empresse de le dire, le fait de la géologie. Si beaucoup d'auteurs profanes ont manié à tort et à travers des arguments qui se réclament de cette science, les géologues eux-mêmes s'occupent très peu de l'Atlantide de Platon. Le passé de la terre leur fournit bien d'autres îles et continents disparus à coup sûr. Le dernier à l'avoir fait, semble-t-il, c'est le français P. Termier, dans une conférence à l'Institut océanographique de Paris, en 1913. A ce point de vue le sujet n'est donc pas ressassé. Et il nous a paru intéressant de le rajeunir en l'accordant avec les découvertes géologiques qui, depuis 40 ans, ont fait d'immenses progrès.

On peut se faire actuellement, somme toute, quatre conceptions de l'Atlantide : une réalité historique qui reste à démontrer totalement ; un conte philosophique ; un mythe platonicien chargé de sens ; ou une légende basée sur un fait exact, mais considérablement déformé. C'est cette dernière : l'Atlantide-légende, que nous choisirons sans chercher à la légitimer davantage. Nous partirons de l'idée qu'il peut y avoir, caché sous le monumental assemblage platonicien, une parcelle de tradition vraie et peut-être, dans cette tradition, une paillette de vérité.

Et notre propos sera celui-ci : Les sciences qui s'occupent du passé de la terre, la géologie tout particulièrement, peuvent-elles espérer rétablir cette vérité ? Y a-t-il vraiment pour elles un problème de l'Atlantide,

ou ce problème doit-il être rejeté, de par sa nature même, comme étant sans lien possible avec le réel ? Autrement dit, vaut-il la peine de chercher, et avons-nous les méthodes, les outils voulus pour aboutir ?

Tout d'abord, où faut-il rechercher l'Atlantide ? Platon semble nous l'indiquer sans équivoque. C'est une grande île dans la mer Atlantique, devant le passage appelé les Colonnes d'Hercule. Et tous les collégiens apprennent que ce nom désignait dans l'antiquité le détroit de Gibraltar. Comment se fait-il alors que depuis 100 ans, près de 80 auteurs aient cru retrouver l'Atlantide en Afrique, en Méditerranée, en Asie et partout ailleurs encore ? Il n'y a pas un point du globe où on ne l'ait située.

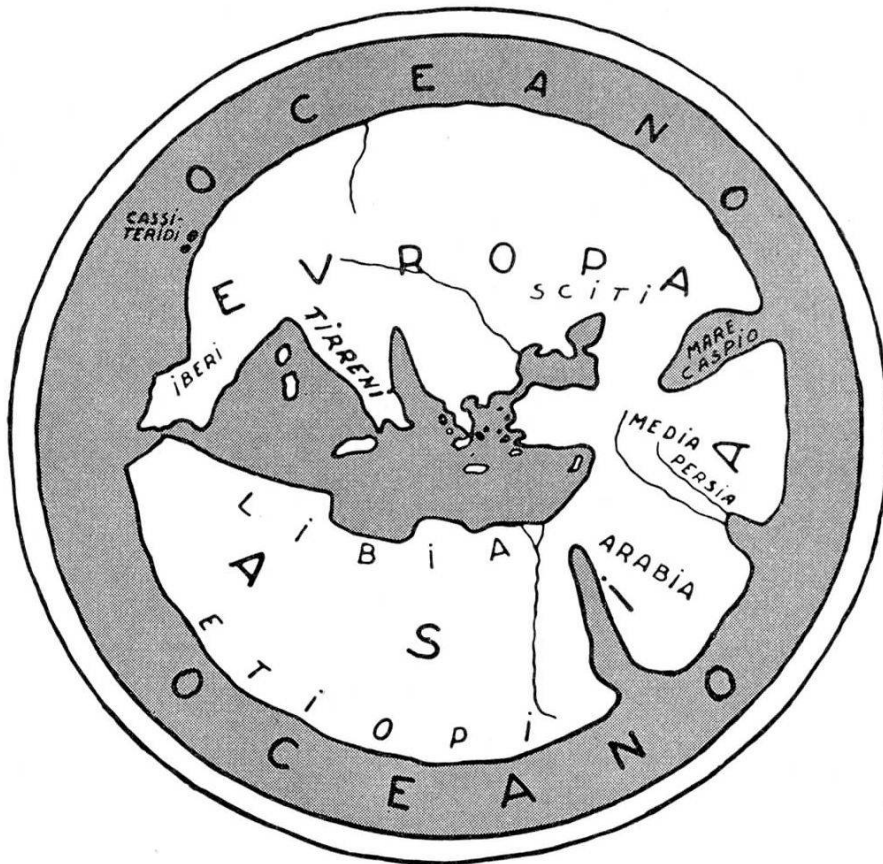


Fig. 1

La terre, selon Anaximandre, vers 550 av. J.-C. C'est un disque plat, essentiellement méditerranéen, avec un océan circulaire et un continent périphérique ceinturant l'océan.

C'est qu'en fait, les indications géographiques de Platon sont extrêmement vagues et incertaines. Pour s'en faire une idée, il faut se replacer dans le monde connu des Grecs. Pour eux la terre est plate et circulaire, et la Méditerranée en occupe le centre. Autour d'elle les continents dessinent une sorte de disque, entouré d'un océan unique en forme de ceinture (fig. 1). Dans cet océan sont connues les îles Cassitérides, où l'on recueille l'étain, probablement les îles Britanniques avec la Cornouaille et ses gisements.

Les Colonnes d'Hercule franchies, l'océan circulaire est donc vaste pour y loger l'Atlantide. Au gré d'une interprétation ou d'une fantaisie, les auteurs l'y promènent donc de l'Angleterre à la Sibérie en passant par le Spitzberg, le Groenland, et jusqu'aux Antilles ou aux Indes.

Mais comment oser la rechercher aussi en Méditerranée et en Afrique, en deçà des Colonnes ? En réalité ces tentatives ne sont pas entièrement gratuites. Elles se fondent sur l'analyse étymologique et toponymique du texte. Aucun des noms géographiques de Platon n'y résiste.

Qu'en est-il des fameuses Colonnes d'Hercule ? Les Phéniciens, qui furent un peuple de navigateurs – et quels navigateurs ! – bien avant les Grecs, et beaucoup plus que les Egyptiens qui ne le furent jamais, les Phéniciens qui connaissaient le mieux la mer et même une partie de l'Océan, et qui naviguaient pour les autres, avaient fondé des comptoirs sur le pourtour de la Méditerranée et au-delà. Près de ces comptoirs fortifiés, ils élevaient des temples à leur divinité nationale Melkart, que les Grecs assimilèrent plus tard à Heraklès, en latin à Hercule, en croyant qu'il s'agissait du même dieu. Ce sont les colonnes de ces vieux temples qui passèrent dans la tradition gréco-romaine sous le nom de Colonnes d'Hercule. Comme ces comptoirs étaient fondés le plus souvent à proximité des détroits, où ils étaient plus faciles à retrouver, plusieurs de ces détroits portèrent tour à tour ce même nom.

C'est en effet une règle bien connue en toponymie, que les mêmes noms de lieux se répètent à mesure que l'horizon géographique s'étend. Des émigrés ont porté aux Etats-Unis des Nouvelles-Galles, des Nouvelle-Orléans, des New-York, et même des Paris et des Berne. Cette pratique est aussi ancienne que les hommes. Du temps où Solon recueillait le récit du prêtre égyptien, au VII<sup>e</sup> siècle, l'horizon des terres était beaucoup plus restreint qu'au temps de Platon, deux siècles plus tard. Et il est fort vraisemblable qu'il n'a pu connaître sous le nom de Colonnes d'Hercule qu'un des nombreux détroits de la Méditerranée orientale, par exemple celui de Sicile, près de l'ancien comptoir phénicien de Palerme. Moreau de Jonnés, admirablement documenté en géographie historique et en philologie, a placé l'Atlantide dans la mer d'Azov, dont les fanges, entravant la navigation, seraient celles que cite le Timée. Le détroit de Kerch serait les Colonnes d'Hercule, marquant la fin du monde connu. La chaîne de l'Elbrouz représenterait l'Atlas, et tout près, la Caspienne s'ouvrirait dans l'océan circulaire.

Le terme d'«île» a été aussi abondamment mis en discussion. Pour les Egyptiens, qui n'étaient pas marins, le même signe désignait également une oasis. Et les Arabes appellent l'Atlas actuel l'«Ile de l'Occident», désignant en cela une montagne séparée du monde par une mer de sable et des lacs saumâtres. Lorsqu'on découvrit que les Berbères africains appellent leur premier ancêtre Uennur, alors que Platon donne le nom d'Evenor à l'un des premiers habitants de l'Atlantide, Uennur et Evenor ne firent qu'un, et la mode fut de placer l'Atlantide en pleine Afrique. On sait que Pierre Benoît a basé son célèbre roman saharien sur cette

théorie approximative, en déformant à la grecque en Antinéa le nom de Tin Hinan, la femme mystérieuse que vénèrent les Touareg du Hoggar.

Le nom d'«Atlas», de ce dieu métamorphosé en montagne pour soutenir la voûte céleste, et duquel dérive celui de l'Atlantide, n'est pas plus précis. Il y a eu un Atlas en Arcadie, un autre en Sicile, et un dans le Caucase avant l'Atlas marocain.

Les recherches historiques – ou pseudo-historiques – et philologiques n'ont donc guère éclairci l'aspect géographique de la question. Nous en retiendrons cependant que cette Atlantide ubiquiste est à rechercher aussi bien en Méditerranée que dans l'Océan.

Dans ce labyrinthe, la préhistoire, l'ethnographie et l'anthropologie, toutes sciences qui poussent de profondes et puissantes ramifications dans le passé, n'ont pu jusqu'ici faire un sort meilleur à l'Atlantide malgré de fort méritoires études. Quand elles ne la nient pas, elles la cherchent dans des directions bien différentes, comme le montrent encore de récentes publications. Leurs possibilités de recherche dans ce domaine sont loin d'être épuisées, bien au contraire, mais l'Atlantide est bien vieille pour elles, tandis qu'elle est bien jeune dans l'échelle des durées géologiques, comme nous le verrons. Et si l'époque de l'Atlantide est si difficile à atteindre, c'est aussi parce qu'elle se situe dans une sorte de terrain vague aux confins de ces sciences et de leurs méthodes.

\* \* \*

La géologie remonte en effet si loin dans le passé du globe que les 10 000 ou 12 000 ans de l'Atlantide sont difficilement mesurables à son échelle. Autant vaudrait mesurer l'épaisseur d'une aiguille avec le mètre de bois d'un marchand drapier. Mais elle dispose de méthodes qui ont incontestablement un rôle essentiel à jouer dans la recherche d'une terre disparue dans la mer.

Car toute l'histoire géologique du globe est faite des mouvements des anciennes mers, qui ont abandonné sur les continents leurs sables et leurs vases devenues des roches, et leurs anciens habitants, poissons ou coquillages, devenus des fossiles. C'est même sur les principaux mouvements des anciennes mers qu'elle se base pour découper le temps en ères : primaire, la plus ancienne, secondaire, tertiaire et enfin quaternaire, celle qui a vu apparaître l'homme. Ce sont aussi des mouvements moins généraux, plus restreints, qui permettent le découpage plus détaillé des ères en périodes et en étages toujours plus fins.

Ces études nous apprennent que notre Méditerranée n'est qu'un vestige d'une mer beaucoup plus grande et surtout plus allongée, qu'on désigne sous le nom de Mésogée, la mer au milieu des terres, équivalent grec de Méditerranée. Jusqu'au milieu de l'ère secondaire, elle reliait l'Atlantique au Pacifique. C'est à l'aurore des temps tertiaires seulement qu'un bassin un peu semblable à la mer actuelle commence à s'individualiser. Ressemblance passagère puisqu'au milieu de l'ère tertiaire cette mer s'étendra une nouvelle fois pour rejoindre l'océan Glacial et l'océan

Indien. C'est aussi à cette époque que, par disparition du vieux continent Nord-Atlantique, l'océan Atlantique commence à prendre sa forme présente. De lui nous ne saurons plus désormais que ce que racontent les quelques golfes qu'il viendra pousser sur notre continent, en Aquitaine et dans la région parisienne. Enfin la Méditerranée se rétrécira à nouveau jusqu'à sa forme actuelle.

Voyons de plus près – quoique bien sommairement encore – l'histoire de cette mer.

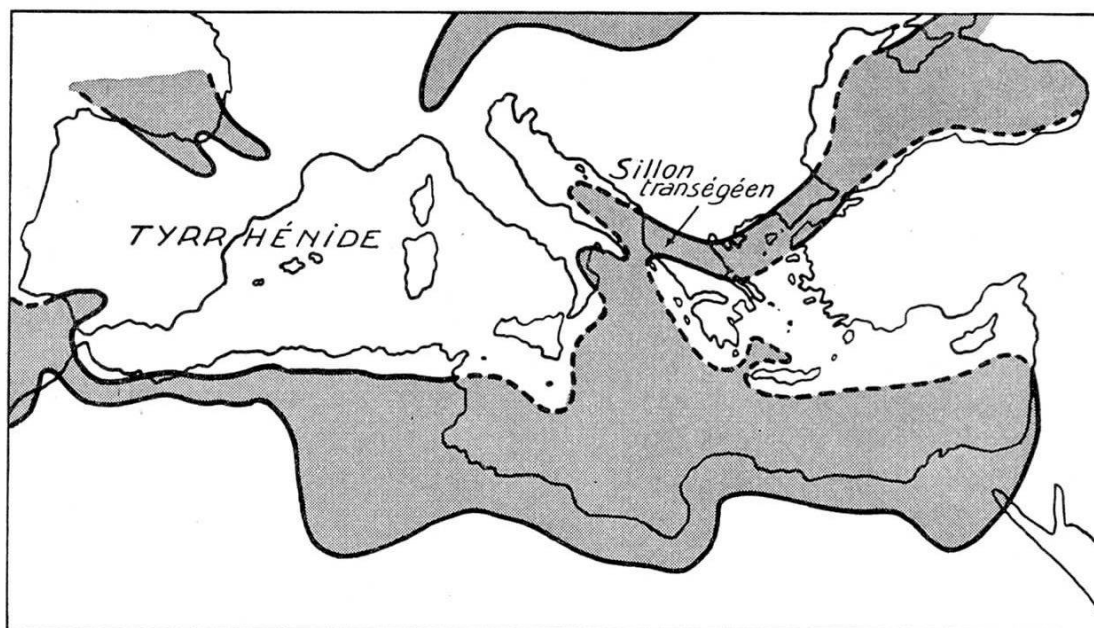


Fig. 2

Le domaine méditerranéen à l'aurore de l'ère tertiaire. En grisé, l'étendue marine.

C'est donc au début du tertiaire qu'un important retrait des mers permet à la Méditerranée de prendre corps, au sud de son emplacement actuel (fig. 2). Une terre unique englobe les pays occidentaux de l'Europe, l'Espagne, l'Italie, les îles, et même l'extrême nord-africain: c'est la Tyrrhénide. La mer se faufile entre elle et l'Afrique par l'étroit chenal ou détroit du Tell. Elle communique par le Sillon transségéen avec une autre mer intérieure sur le continent asiatique.

Au milieu du tertiaire (fig. 3) la Méditerranée s'élargit à nouveau considérablement. Par différents bras, elle communique avec des mers continentales européennes et asiatiques. L'un d'eux remonte la vallée du Rhône français et passe sur le Plateau suisse. Sur son fond se déposent les sables qui constitueront notre molasse avec ses huîtres fossiles et ses dents de requins. Les Alpes commencent à émerger, les Apennins aussi. On compte une bonne demi-douzaine d'îles en Méditerranée occidentale dont l'une, à l'emplacement de Gibraltar, est enserrée par deux détroits, nord-bétique et sud-rifain.

Au milieu du tertiaire les îles méditerranéennes ne manquent donc pas. L'île bético-rifaine correspond si bien à l'emplacement désigné par Platon que tout récemment encore l'océanographe français Le Danois a

voulu y voir l'Atlantide. Mais aucune d'elles ne saurait l'être puisque l'homme n'existe pas encore.

Vers la fin du tertiaire (fig. 4) la Méditerranée a presque atteint sa forme présente. L'île bético-rifaine a disparu, laissant place à l'unique détroit de Gibraltar. Quelques grands lacs, vestiges des mers intérieures, subsistent sur le continent. L'isthme des Cyclades relie la Grèce à l'Anatolie et isole le lac Egéen. La mer Noire et la Caspienne sont encore réunies, ultimes vestiges de la grande mer qui joignait les océans Indien et Glacial.

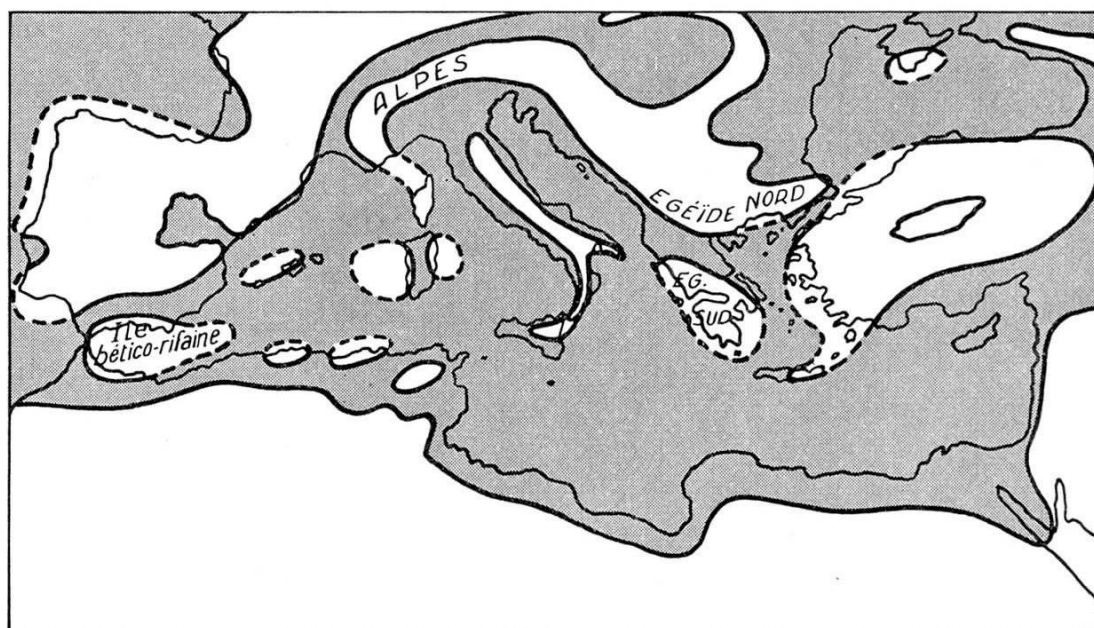


Fig. 3

La Méditerranée au milieu de l'ère tertiaire.

L'ère quaternaire commence. Elle sera très courte, 50 fois plus brève que l'ère tertiaire. L'humanité fait son apparition – combien récente à l'échelle géologique – sur le pourtour de la Méditerranée, où le climat se refroidit un peu, tandis que les glaciers envahissent les Alpes et le nord de l'Europe. L'homme a-t-il vu encore de son temps des modifications des terres et des mers ? Certainement. Des retouches de détail compléteront notre géographie, faibles dans l'ensemble, mais immenses à l'échelle humaine. D'importants mouvements de terrains l'attestent : en Sicile, des sables de plages marines du quaternaire ancien, avec leurs coquillages caractéristiques, sont actuellement soulevés de 100 m. D'autres plages, plus récentes encore, se trouvent maintenant à 15 ou 30 m, ou 100 m en Calabre, et jusqu'à 350 m à Corinthe, au-dessus de la mer où elles se sont formées. De pareils mouvements du sol ont déformé en Afrique du Nord des terrasses d'alluvions jadis planes.

C'est au cours de la même ère, alors que d'énormes glaciers accaparaient sur terre l'eau sous forme solide, que l'homme a vu le niveau de la mer baisser de 100 m au moins. Ce retrait de la mer a rouvert de nouvelles connexions terrestres entre les îles et le continent. Chypre se relie

à l'Anatolie, la Crète à l'Egée, Malte à la Sicile et à l'Italie, la Corse et la Sardaigne à la France, les Baléares à l'Espagne. Toutes ces nouvelles liaisons temporaires de l'époque de l'homme sont prouvées par des restes de faune. Un seul exemple entre beaucoup : on trouve sur ces îles et dans le sud du continent européen des restes de curieux éléphants nains d'une taille de un à deux mètres. Un paléontologue français a pu démontrer que ce ne sont pas des éléphants d'Afrique, mais des descendants de l'éléphant antique, jadis de grande taille, abondant parmi les fossiles

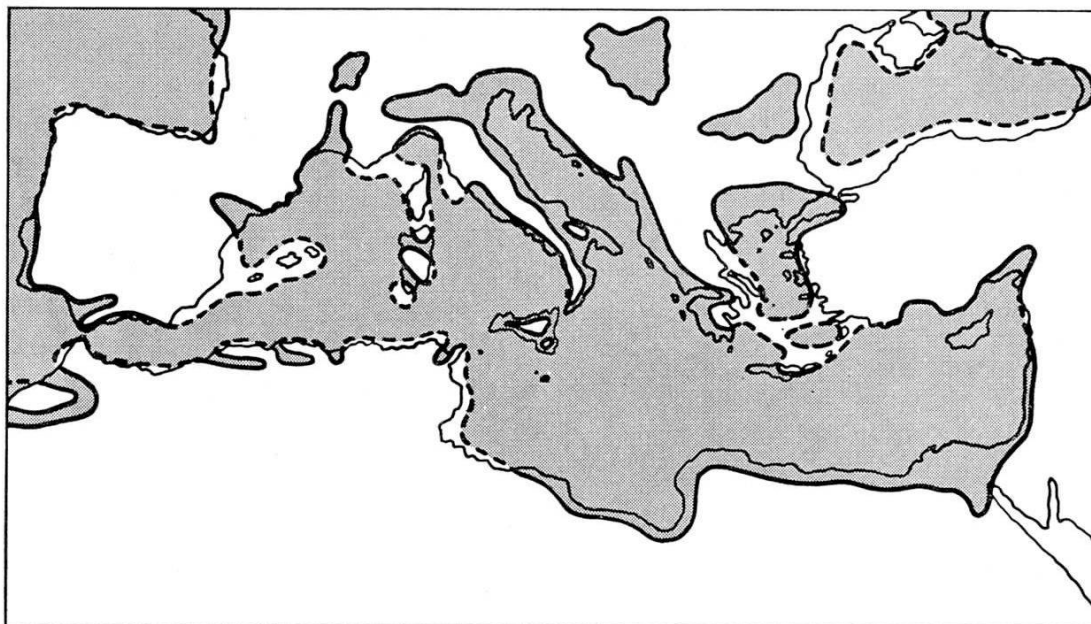


Fig. 4

La Méditerranée à la fin de l'ère tertiaire (fig. 2, 3 et 4, d'après Furon, modifiées).

de la faune chaude du quaternaire ancien d'Europe. Le climat glaciaire l'a fait redescendre peu à peu vers le sud, où l'espèce a dépéri et a fini par s'éteindre sans pouvoir gagner l'Afrique. Il n'y avait plus de liaison terrestre avec l'Afrique pour ces éléphants, mais ils ont passé sur les îles par des connexions terrestres, c'est-à-dire des terres aujourd'hui noyées.

A la fin de la période glaciaire, l'eau des glaciers est rendue à la mer qui remonte à son niveau actuel. L'humanité en est à la pierre taillée. Selon les géologues scandinaves et leurs mesures sur les varves, fines couches de vase saisonnières déposées au rythme de deux par an – été et hiver – dans l'ancienne Baltique, ce recul des glaces serait vieux d'environ 10 000 ans seulement. Et pourtant d'importants mouvements de la croûte terrestre se sont produits depuis. La partie nord des îles Baléares s'est soulevée tandis que par un mouvement de bascule leur partie sud s'enfonçait. C'est aussi la fin de l'Egée qui s'effondre, ouvrant la mer de Marmara et le Bosphore. L'eau salée de la Méditerranée chasse les faunes lacustres aralo-caspiennes qui se réfugient dans l'eau douce des estuaires. Les îles de la mer Egée s'isolent. Des éruptions vol-

caniques s'affirment, dont le cratère explosé de Santorin (Thera) est le témoin le plus saisissant. Nous ne sommes plus qu'à quelques millénaires, tout au plus, de notre ère. Les hommes savent que les terres et les mers s'affrontent dans cette région, que le feu les dévaste, et leur mythologie s'en imprègne.

De cette tragédie, nous venons de vivre un acte récent. C'est, en août 1953, l'île ionienne de Céphalonie, disloquée par de violentes et successives secousses sismiques, qui tombe par morceaux dans la mer, et la fuite de ses 120 000 habitants qui se réfugient sur le continent.

L'analyse géologique de ces événements contemporains de l'ancienne humanité n'authentifie-t-elle pas la déclaration du vieux prêtre à Solon, dans le récit atlantique, que, chez les Grecs, les hommes ont été plusieurs fois détruits par le feu et par l'eau ?

N'est-il pas saisissant que la science vienne confirmer cette affirmation d'Aristote, plus de trois siècles avant J.-C. : « On sait de façon certaine que... la progression des eaux et leur recul, tantôt en bien des endroits ont fait disparaître des continents dans la mer, tantôt par contre ont annexé ce qui était le fond de la mer aux continents » ? Et cette phrase d'Ovide dans les *Métamorphoses*, écho de la pensée de Pythagore : « J'ai vu changées en mer des terres autrefois d'une solidité à toute épreuve, j'ai vu la mer se transformer en terre. Et des coquilles marines sont gisantes loin des rivages actuels ? »

La pensée géologique est donc née en Grèce. Certes, elle sommeillera pendant 2000 ans, à travers les Latins et le moyen âge, et son réveil sera lent. Bernard de Palissy osera dire à nouveau, en 1580, que les fossiles ne sont pas des « jeux de la nature », qu'ils furent des êtres vivants. Pourtant Voltaire, esprit fort, le raillera encore en 1746, en prétendant que les fossiles de France sont des coquillages jetés par les pèlerins de retour de Syrie ! Mais les géologues peuvent revendiquer d'anciens et nobles patrons.

L'histoire géologique de la Méditerranée montre donc que si des sables, que les hommes du quaternaire moyen ont vu se déposer au niveau de la mer, sont soulevés par place de 15 ou de 350 m, il n'est pas invraisemblable qu'en sens inverse une île, même grande, ait pu exister et disparaître dans cette mer et son souvenir demeurer dans la tradition.

Une Atlantide méditerranéenne n'est donc pas une impossibilité. Mais la preuve en reste encore à faire. Si l'on peut affirmer d'un continent ou d'une île : « Ici, à telle époque, fut une mer et telle sorte de mer », on ne peut dire si aisément d'une région marine : « Ici fut une terre. » Non pas que les mêmes méthodes ne soient applicables. Procurez au géologue du sable ou des roches du fond, il identifiera une ancienne terre. Sans ruines de temple ni statues d'orichalque, il retrouvera l'Atlantide. Ce n'est plus qu'une question d'accès, de dragages ou de sondages coûteux. Et notre époque, qui s'offre de luxueuses guerres, n'a que quelques petits sous pour de telles entreprises.

Quittons la mer Méditerranée pour l'océan Atlantique, l'immense mer océane des vieux auteurs français. Le moyen âge le nommait *Mare Tenebrosum*; et malgré les milliers de navires qui le sillonnent et les avions qui le survolent, il est encore pour nous une immensité pleine de mystère, un océan des Ténèbres. Rarement, un gouvernement frète un navire pour une campagne océanographique. Il rentre chargé de gloire et de renseignements précieux, mais qui se perdent dans cet infini.

De l'histoire géologique de l'Atlantique, nous ne savons que fort peu de choses, comparée à celle de la Méditerranée. En Méditerranée, les côtes sont proches les unes des autres, des péninsules et des îles offrent à l'étude en abondance leurs roches et leurs couches de terrain. Dans l'Atlantique, les îlots sont rares et petits, la plupart ne sont que d'infimes sommets de cônes volcaniques. Les échantillons de roches ramenés du fond par sondage sont peu nombreux. Seuls, nous l'avons dit, quelques golfes dépendant de l'Océan sont venus au cours des temps géologiques mordre sur le continent et y déposer quelques couches, feuillets combien partiels et disséminés de la longue histoire de l'immensité océane.

Cette pauvreté, sinon cette absence de documents, a laissé place à de grandes suppositions. Parce qu'en toute science, quand on ne sait pas ou plus, on imagine, et l'on cherche à vérifier des suppositions. La géologie, disent certains, est un tissu d'hypothèses. Gardons-nous de trop réfuter cette réputation surfaite. Une hypothèse est l'aveu d'une ignorance, mais qui veut s'éclairer. C'est une avance de crédit à une entreprise, une prise de risque, un signe de vitalité. Longtemps j'ai cru, comme d'autres, à l'excès des hypothèses en géologie. Puis des comparaisons m'ont appris qu'elles sont plus modestes et plus proches de l'objectivité que celles d'autres sciences réputées plus exactes. La vérité, c'est qu'en géologie, science dépourvue d'expérimentation, les hypothèses durent plus longtemps.

Nous n'aborderons rapidement que deux d'entre elles. La première est la théorie de la dérive continentale. On l'exploite contre l'Atlantide. La seconde est celle des ponts intercontinentaux. Elle est souvent arrangée à tort et à travers à la mode atlantidienne. Mais disons bien que ces hypothèses, dans leur forme originelle, ne sont pas le produit d'imaginaires débridées, mais des suppositions simples et possibles pour expliquer certains faits connus. Voici la première :

Les géophysiciens, nés du mariage d'un pauvre géologue à une riche physicienne, appliquent de plus en plus, depuis quelques décennies, les méthodes maternelles à l'étude de la croûte terrestre. Ils auscultent cette enveloppe, épaisse de plusieurs dizaines de kilomètres, par deux procédés de choix. L'un consiste à enregistrer par les sismographes les variations de vitesse des ondes sismiques à travers les divers milieux intraterrestres. L'autre, c'est la mesure de l'intensité de la pesanteur, ou, si l'on préfère, de l'attraction qu'exerce la terre sur une même petite masse, attraction qui varie d'un point du globe à un autre selon que la croûte est plus ou moins dense.

Ils ont pu vérifier de la sorte que la matière des continents et celle qui constitue le fond des océans sont différentes. La matière continentale, dite sial (faite surtout de silice et d'alumine), est plus légère que celle du fond des océans ou sima (silice-magnésie). Ces deux matières, qui nous paraissent rigides et solides, ne le sont pas à l'échelle du globe et des temps géologiques. Elles sont douées d'une certaine viscosité qui leur permet de se déplacer, avec une lenteur infinie, l'une par rapport à l'autre. C'est ainsi que les continents légers flottent littéralement sur le sima plus lourd, en respectant la loi principale de tous les corps qui flottent, celle de l'isostasie, tout comme la planche qui flotte sur l'eau, le fer sur le mercure ou plus exactement un morceau de pâte plastique et légère sur une autre pâte un peu plus lourde. La matière continentale peut se plisser, former des bourrelets ou chaînes de montagnes, elle peut se courber en s'enfonçant provisoirement et laisser avancer la mer sur elle, elle surnage toujours. Ces conceptions, dans leur essence, ne sont plus discutées.

Cette mobilité possible des radeaux continentaux a fait supposer à l'Allemand Wegener que l'Amérique était autrefois soudée à l'Eurafrique, et qu'elle s'en est lentement écartée au cours de l'ère tertiaire. L'idée se fonde non seulement sur le parallélisme de deux rivages, qui s'emboîtent assez bien, mais aussi sur la ressemblance assez surprenante des différents terrains anciens qui forment les rivages de part et d'autre de l'Atlantique. Disons, si l'on veut, qu'Amérique et Eurafrique sont deux morceaux d'un puzzle dont à la fois formes et couleurs correspondent à distance.

Cette hypothèse de Wegener a fait couler beaucoup d'encre. Elle compte encore d'ardents défenseurs. Les discussions et recherches d'arguments qu'elle a provoquées ont fait considérablement progresser la science. Mais cette unité continentale primitive, qui semble ne pas laisser, entre ses morceaux, de place disponible pour une terre engloutie dans l'Océan, a détourné bien des géologues de l'Atlantide.

Pourtant les deux tendances ne sont point forcément contraires ni exclusives. Ce n'est qu'une question de dimension. Les rives opposées ne sont pas exactement jointives, il s'en faut, malgré les apparences. D'autant moins que la vraie bordure continentale n'est pas celle du rivage marin, mais bien celle de la plate-forme continentale inondée, c'est-à-dire de la marge de continent sur laquelle empiète la mer. Ce contour-là est moins facile à suivre de l'œil que celui du littoral sur une carte géographique. Le wegenerien convaincu peut dire non à l'Atlantide-continent, mais il manque d'argument contre une île, voire une grande île, jadis intercalée dans la déchirure continentale. Il sait en toute orthodoxie qu'ailleurs, en Insulinde par exemple, ou aux Antilles, d'autres dérivés sont interprétés comme abandonnant derrière elles des morceaux de sial continental sous forme de traînées d'îles, reconnus comme tels par les nouvelles mesures de pesanteur.

Et voici que les plus récentes données de vitesse des tremblements de terre sous les océans nous apportent un tribut propre à réjouir les

atlantomanes. Elles montrent en effet que si le fond du Pacifique est entièrement formé de sima lourd, il n'en va pas de même sous l'Atlantique, et surtout dans la moitié orientale de cet océan, du côté de l'Europe justement, où l'auscultation révèle de grosses masses sialiques, de matière continentale, éparpillées sur le fond.

Il serait prématuré de dire que cette matière fut émergée naguère et à quelle date elle le fut. Mais il est vraisemblable que nos enfants le sauront, par la mise en œuvre de méthodes d'investigation qui déjà se dessinent. Laissons-leur la surprise de ressusciter l'Atlantide si leurs conclusions le permettent.

L'autre théorie, celle des ponts intercontinentaux ou transocéaniques, nous fait aborder un monde tout différent, celui de la paléontologie, des fossiles, qui sont les témoins pétrifiés mais éloquents des étapes de la vie sur le globe. Elle est née de patientes études comparées entre les fossiles de même époque, contenus dans les anciennens couches de roches des côtes atlantiques de l'Ancien et du Nouveau-monde. Si l'on trouve sur ces côtes, et sur ces côtes seulement, des fossiles d'animaux terrestres non nageurs, comme les ancêtres des chevaux, ou bien d'anciens mollusques d'eau douce qui ne peuvent cheminer, sous peine de mort, dans les eaux salées, force est d'admettre qu'une communication terrestre a dû exister entre elles.

Des découvertes de ce genre ont été faites, indiscutablement et exclusivement cantonnées sur les deux rivages. Si l'on exclut la théorie de l'ancien accollement des continents de Wegener, elles nécessitent l'existence d'au moins cinq voies de communication terrestre entre l'Amérique et l'Eurafrique, de ponts quelconques, entre l'ère primaire et le milieu de l'ère tertiaire.

Tout ce qu'on connaît, ce sont les points d'aboutissement de ces passages. Sur leur forme, leur largeur, on ne sait rien. On ne peut que relier ces têtes de pont par des lignes droites, des vecteurs de vie. Pourtant bien des gens mal informés se sont hâtés de les dessiner sur des cartes, en se guidant plus ou moins sur la forme des hauts-fonds océaniques. Et, bien entendu, on n'a pu se retenir d'y figurer pas mal d'Atlantides fantaisistes.

Mais depuis que la radioactivité des roches à uranium a permis, récemment, de jeter quelques jalons dans la durée des temps géologiques, en précisant que le début de l'ère primaire remonte à près de 500 millions d'années, et que depuis le milieu de l'ère tertiaire, date de la rupture du dernier pont connu, il s'est écoulé près de 20 millions d'années, il n'est plus permis de concevoir une Atlantide sur les ponts paléontologiques.

Est-ce à dire que la méthode ait épuisé ses possibilités et que tous les anciens ponts nous soient connus ? Certainement non. Si pour l'étude des derniers millénaires de notre planète la géologie passe la main à la pré-histoire, la paléontologie, elle, passe la main à la zoologie et à la botanique. Et ces sciences, en raison du peuplement biologique actuel des îles atlantiques, des Canaries, des Açores et d'autres, pour expliquer la présence de certaines plantes, de certains petits mammifères ou reptiles, ont à leur

tour besoin de ponts, mais de ponts beaucoup plus récents. L'étude de leur faune et de leur flore est faite de questions de liaisons de ces îles entre elles et avec les continents. Actuellement ces problèmes ne sont qu'entrevis, bien incomplètement posés, faute de naturalistes et de crédits. Et combien faut-il déplorer que l'homme modifie ou massacre ce peuplement avant même qu'il ne soit connu ; avant que ces plantes, ces animaux et même ces races humaines n'aient pu nous livrer leur secret d'il y a 10 000 ans ! Qui saurait dire combien de ponts, de communications ou d'îles surgiraient de ces recherches ?

Convenons donc que si les hypothèses géophysiques et paléontologiques sur le passé de l'océan Atlantique ne nous permettent pas de poser le doigt sur l'Atlantide, elles nous révèlent que bien des terres ignorées ont, dans l'espace et dans le temps, figuré sur cette grande aire océanique.

Ce secret des terres disparues que, faute des données nécessaires, nous ne pouvons arracher déjà aux terres actuelles, ne pourrions-nous l'obtenir du fond même de la mer ? Dans ce vaste domaine, les possibilités de la science sont immenses. La géologie sous-marine se sert des mêmes méthodes que la géologie terrestre. D'une part elle examine les roches, leurs fossiles, les sols, qui lui parlent du milieu dans lequel ils se sont formés : un lac, un désert, une tourbière, une mer, une lagune. D'autre part elle analyse les formes du terrain, les paysages qui lui dévoilent comment ils ont été modelés, par des rivières, des glaciers, des vagues, par le volcanisme ou les vents. La géologie sous-marine peut de même s'attaquer soit aux roches et aux vases du fond de la mer, soit aux formes du fond, à sa morphologie. C'est évidemment plus difficile que sur terre, et surtout beaucoup plus coûteux.

En Hollande, dans les polders, ces grandes étendues gagnées sur la mer au moyen de digues, on peut se promener réellement sur un fond marin dont les vases durcies sont mises en culture. Dans les fossés de drainage, on voit apparaître toutes les couches laissées par les dépôts successifs de vase récente. Et dans ces feuillets, les géologues hollandais ont retrouvé tous les épisodes de l'histoire marine du Zuyderzée pendant l'ère chrétienne. Ils savent, par exemple, qu'au cours du moyen âge la mer a considérablement envahi la terre.

De semblables études peuvent aussi se faire sur les fonds de l'océan. Il faudrait pour cela disposer non seulement des échantillons ramenés par les dragues ordinaires de la surface du fond, mais pouvoir sonder plus profondément et ramener dans une sonde, dans un tube, une colonne découpée dans les vases et les roches du fond. Dans ce but, divers sondeurs-canon ont été récemment construits. C'est un tube, un canon, descendu par un long câble qui, touchant le fond, lance par explosion un second tube qui pénètre profondément dans le fond dur. Des essais pleins de promesses ont été faits. Mais ils sont fort coûteux. S'ils pouvaient se multiplier, toute l'histoire des océans et des terres disparues se révélerait à nous. Il suffirait que les gouvernements mettent le prix de quelques

pièces d'artillerie à des sondeurs-canons et celui de quelques contre-torpilleurs à des navires océanographiques.

Mais les formes du fond, dira-t-on, révélées par de simples sondages au câble qui ont permis de dresser des cartes océaniques en relief, avec des courbes de niveaux, que nous disent-elles, comparées aux formes des reliefs continentaux ?

On se figure volontiers, en regardant les cartes maritimes, que le relief océanique est très mou. Les courbes de niveau du fond s'y étalent en larges contours arrondis, beaucoup moins mouvementés et capricieux que ceux des courbes de niveau des reliefs terrestres. Mais ce n'est là qu'une illusion née de ce que les sondages sont encore beaucoup trop clairsemés. On a calculé, par exemple, que si les Alpes suisses étaient immergées dans la mer, le dessin de leur relief au moyen des quelques sondages de profondeur habituels sur une surface marine de cette grandeur, en donnerait une image si grossière qu'elle en serait absolument méconnaissable. Au lieu du chevelu de vallées découpées, au lieu des arêtes et des sommets effilés dominant les vallées de 2000 ou 3000 m, nous ne pourrions dessiner qu'une sorte de grosse croupe s'élevant à peine de 600 à 800 m au-dessus des environs. Il faudrait une chance inouïe pour que l'un de nos rares coups de sonde soit tombé sur un sommet de 3000 m, et pour avoir quelque chance d'atteindre un sommet de 4000 m, il faudrait multiplier par 100 000 et plus le nombre habituel des sondages. Que dirait le voyageur ou l'aviateur qui, franchissant les Alpes, ne pourrait avoir pour toute carte qu'un document aussi grossier, les lui présentant comme un bombement large et uniforme ? Quel émerveillement pour lui que de découvrir le vrai relief alpin. Pourtant ce n'est qu'une telle image du fond, estompée et amollie à ce degré, que nous offrent les cartes maritimes.

Ces sondages si dispersés ont cependant révélé l'existence, au milieu de l'Atlantique, d'une grande chaîne de montagnes, la plus longue connue, puisqu'elle l'est quinze fois plus que les Alpes. C'est la chaîne médiatlantique (fig. 5) qui, chose bien curieuse, court parallèlement aux deux rivages. Comme eux, elle s'infléchit sous l'Equateur, où elle est bizarrement coupée par une des fosses les plus profondes, la petite fosse de la Romanche, profonde de 8250 m. Cette chaîne est-elle en cours de formation, de plissement ? Est-ce une ancienne chaîne affaissée ? Nous n'en savons rien. Et les hommes réussiront probablement à envoyer une fusée dans la lune avant d'avoir éclairci le problème de leur plus longue chaîne de montagnes terrestre. On sait pourtant que de nombreux tremblements de terre y ont leur foyer. C'est donc une chaîne en travail, en cours d'affaissement ou d'érection. Nous n'avons aucun droit, comme on s'est empressé de le faire, bien entendu, de croire que la chaîne médiatlantique représente les anciennes montagnes de l'île de Platon. Son affaissement aurait entraîné un tel refoulement du sima sous-jacent qu'il n'aurait pu se produire ni en 10 000, ni en 100 000 ans.

Entre cette chaîne et l'Eurafrique, il existe nombre de hauts-fonds de 1000 ou 2000 m, dominant des bas-fonds de 4000 à 6000 m. Nous ne

sommes pas mieux renseignés sur leur topographie détaillée et sur leur éventuelle histoire continentale que sur celle de la chaîne. Ceux qui se trouvent en face de Gibraltar sont souvent, et beaucoup plus que les autres, le siège de tremblements de terre. C'est un indice d'instabilité. Nous pouvons supposer qu'il s'est passé là récemment des modifications importantes des profondeurs, des émerSIONS et immersions, mais nous n'en avons pas encore la certitude.



Fig. 5

La chaîne médiatlantique, en grisé, mise en évidence par le tracé des courbes —4000 et —3000 m.

La connaissance du relief sous-marin est donc fort incomplète et à peine ébauchée. Toutefois, elle fait depuis quelque temps un rapide bond en avant grâce au procédé du sondage au son et aux ultra-sons. Depuis un bateau, on envoie un son ou un ultra-son et on enregistre l'écho qu'en renvoie le fond. On dresse ainsi des profils du fond selon l'itinéraire du bateau. Et constamment l'écho monte ou descend, scrutant des fonds

beaucoup plus accidentés que tout ce qu'on pouvait supposer. Avec ces profils, des cartes peuvent être dessinées, au relief fort détaillé. On a commencé à le faire surtout près des côtes et des îles, où le repérage est plus facile. Ces cartes révèlent une chose extraordinaire qui est une des grandes énigmes de la géologie actuelle :

Autour de la plupart des continents, dans la mer, on savait qu'il existe une large plate-forme, la plate-forme continentale, qui descend doucement jusqu'à la profondeur de 200 m environ. Puis la pente s'accroît rapidement pour gagner les grands fonds. Cette pente rapide, c'est le talus continental. Sur cette large banquette, sur ce trottoir de matière continentale, des va-et-vient de la mer pendant l'ère quaternaire se sont succédés et les vagues l'ont nivelé. La grande découverte, récente, due à la cartographie sous-marine par les ultra-sons, c'est que la plate-forme et le talus sont profondément entaillés par des vallées sous-marines aux flancs abrupts, d'immenses ravins, des canyons, des gorges profondes.

Chacun connaît par l'image l'imposant canyon, le gigantesque ravin creusé par le fleuve Colorado aux Etats-Unis. C'est l'œuvre la plus saisissante de l'érosion, du travail de l'eau courante. Les ultra-sons ont révélé sous l'Océan, au large du Mexique, dans la baie de Monterey, un canyon sous-marin tout aussi gigantesque. Il est long de 80 km. Son entaille en V très pointu est profonde de plus de 1500 m. Il a la même forme qu'un canyon continental et reçoit aussi des affluents.

Il en existe bien d'autres, grands ou petits, et l'on ne finit pas d'en découvrir de nouveaux. Le bord de la plate-forme atlantique américaine, le long des Etats-Unis, est mordu par de nombreux ravins de ce genre, très finement cartographiés. Les pêcheurs des côtes françaises en connaissent depuis longtemps dont les sondages ont précisé les formes (fig. 6).

Pour expliquer ces étranges vallées, on essaie tout : cassures de l'écorce, failles, effondrements, courants sous-marins, courants de gravité — brusques et momentanés, entraînés par de vraies avalanches sous-marines de sédiments non encore consolidés sur le talus continental. Rien de cela ne résiste à la critique. Une seule cause subsiste : ce sont d'anciennes vallées continentales, creusées par des fleuves ou rivières sur le continent, alors que ces fonds de mer étaient hors de l'eau. Et tout le long de la côte d'Europe des ravins ou vallées sous-marins prolongent les vallées terrestres.

Il faut dire que si l'étude de la forme de ces entailles est relativement aisée, celle de l'histoire de leur creusement, de leur date, ne l'est pas du tout. Comment dater une vallée ? Sur terre ferme on dispose de plusieurs moyens, dont le plus sûr consiste à rechercher l'âge des terrains qui se sont formés dans la vallée : sols, terrasses d'alluvions, etc... en étudiant les restes fossiles d'âge caractéristique qu'ils contiennent ; l'âge du creusement est certainement antérieur au leur. Ce faisant on se garde, il va de soi, de considérer comme fossile valable une pétrification éboulée d'un versant rocheux de la vallée, tombée, comme d'autres cailloux, sur le fond de la vallée et mêlée à son sol. Ce fossile, beaucoup plus vieux,

donnerait à la vallée une date gravement fautive. C'est ce qu'on nomme une faune fossile remaniée, un trompe-l'œil, analogue à l'introduction frauduleuse d'outils de silex taillés dans une sépulture burgonde; et le dépistage de cette tromperie naturelle se fait par de vrais procédés de police scientifique.

Tout cela va bien sur terre. Sous la mer, c'est une autre affaire. A grand-peine des échantillons de dépôts ont été prélevés sur le fond de certains canyons. Ils contiennent des microfossiles d'âge tertiaire, indiquant un creusement ancien, en opposition avec la fraîcheur des reliefs. Mais comment savoir si cette faune fossile et ces débris de roche sont «en place», s'ils ne sont pas des fragments plus anciens, remaniés, dévalés des parois abruptes des canyons, précipités sur le fond après le creusement et englobés dans la vase? Il y faudrait une grande minutie dans le prélèvement de l'échantillon, sous le contrôle direct d'un œil humain, par plusieurs centaines de mètres de fond. Si complexe que soit l'opération, l'océanographie actuelle répond qu'elle est possible. Les bathyscaphes se perfectionnent, le courage ne manque pas aux chercheurs. Le prix d'un seul navire de ligne, dont la ferraille sombrera d'un coup sans profit, assurerait le succès d'innombrables campagnes sous-marines de ce genre,

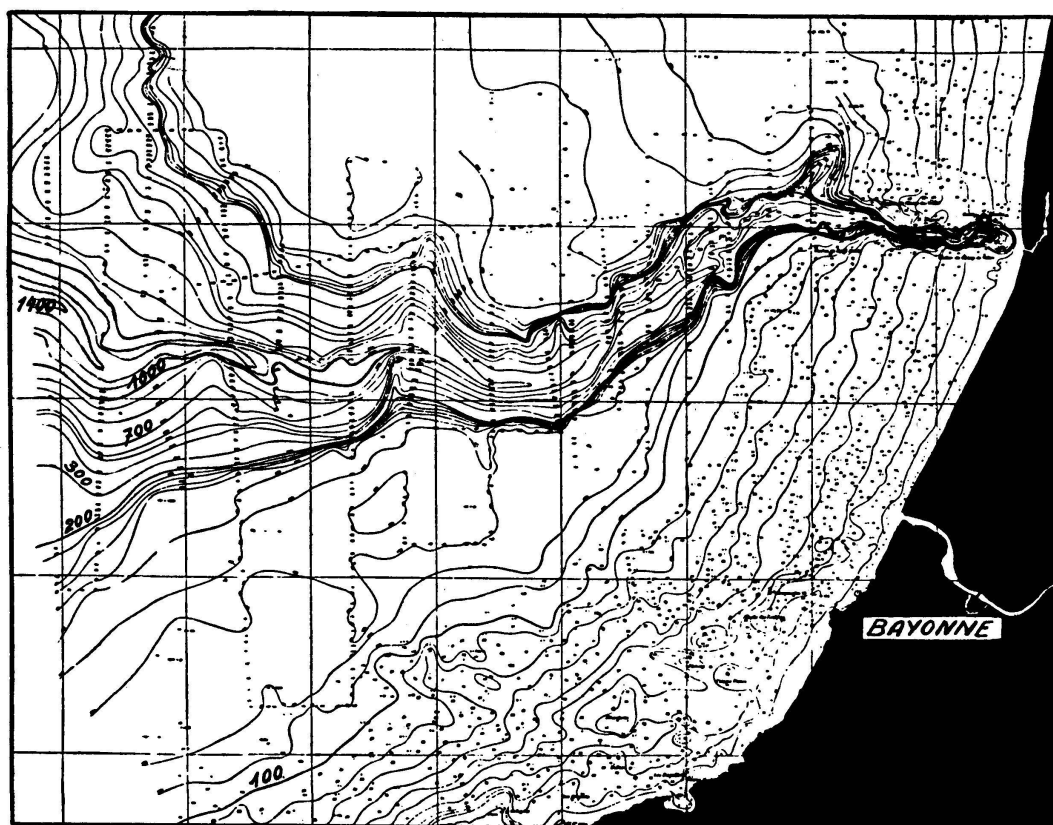


Fig. 6

La vallée sous-marine de cap Breton, sur la côte atlantique française, en face de Bayonne, représentée par ses courbes de profondeur. (D'après la carte du commandant Beaugé).

et la question de l'origine et de la date des canyons sous-marins serait à coup sûr résolue, apportant son tribut capital à diverses sciences.

Que peuvent-ils nous raconter pour l'instant, ces grands ravins sous-marins ? Que s'est-il passé ? Faut-il admettre que pendant la période glaciaire, la glace ait tellement accaparé d'eau sur les continents que le niveau des mers se soit abaissé de 1500 m pour permettre aux rivières de creuser leur cours jusqu'à lui ? C'est impossible, parce que le sel resté dans l'eau aurait atteint une telle concentration que tous les êtres marins, poissons, coquillages, algues, auraient été tués. Alors quoi d'autre ? On

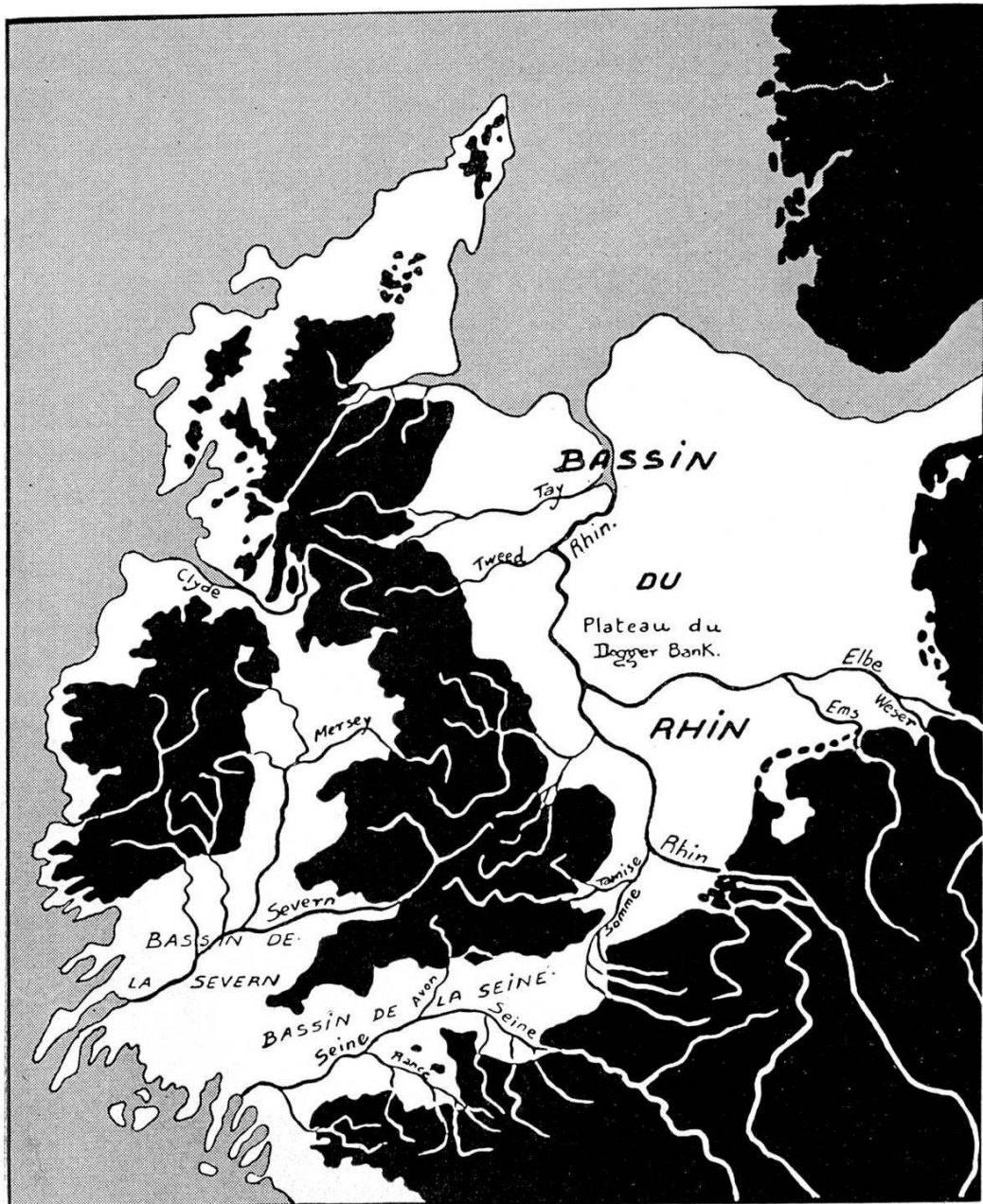


Fig. 7

La côte celtique vers la fin de l'époque glaciaire (début de la période actuelle). Essai de représentation d'après la bathymétrie actuelle. En gris, l'étendue marine. En blanc, surface émergée, aujourd'hui noyée. (D'après Le Danois)

ne sait. Le plus probable est que le niveau a baissé en effet, mais beaucoup moins, et que les continents sont montés et descendus, non d'un mouvement d'ensemble, mais qu'ils se balancent alternativement, tantôt ici, tantôt là. L'étude en cours des canyons de la côte française paraît vouloir démontrer qu'ils ne sont pas tous de même âge. La fraîcheur de leurs formes est en tout cas un solide argument en faveur de leur creusement récent et rapide. Il y eut donc des émergences de côtes et d'îles beaucoup plus importantes que tout ce que nous pouvions supposer.

Les côtes de l'Afrique du Nord et de l'Europe se sont donc étendues bien plus avant dans l'Atlantique, du temps où les hommes existaient déjà, et c'est peut-être aussi dans leur recul qu'il faut chercher l'origine de la légende atlantidienne.

De ce recul des terres atlantiques devant la mer, on a d'autres preuves. Les estuaires, ces embouchures élargies des fleuves atlantiques, sont des vallées enfoncées, comme les fjords norvégiens. Sur le littoral atlantique français, par marée très basse, on trouve aujourd'hui sous la mer, des tourbes, faites des débris accumulés de plantes d'eau douce terrestres. Elles se sont donc enfoncées et, avec elles, les outils néolithiques, les haches de pierre polie que les hommes y ont laissés. Il en existe aussi au large des côtes belge et hollandaise, recouvertes de vase marine récente. Dans l'ancienne vallée submergée du Rhin, dans la mer du Nord, on a dragué des ossements de mammoth, du temps où l'on pouvait passer à pied sec du Danemark en Ecosse, du temps où les îles Britanniques étaient encore sur le continent (fig. 7). Ces mammoths, éléphants des zones froides, au large des surfaces glacées, étaient contemporains d'hommes civilisés qui les ont dessinés — avec quel style! — sur les parois des cavernes.

La côte atlantique s'enfonce encore. Les dernières indications sont historiques. Vers l'an 400 après J.-C. la ville d'Ys disparaît dans la baie de Douarnenez en Bretagne. La forêt de Scissy s'enfonce sous les eaux, avec ses deux monastères. Il n'en émerge plus qu'une colline, le Mont-Saint-Michel. La liaison se rompt entre les îles anglo-normandes et le littoral. Hélioland se réduit à un îlot minuscule. Au XII<sup>e</sup> siècle la mer recouvre lentement la région du Zuyderzée, en Hollande, et les côtes belges.

C'est là, sur cette côte celtique où les submersions sont historiques, qu'une école ethnographique veut placer non l'Atlantide elle-même, mais l'origine de la légende atlantidienne. Tout récemment le Français Gidon s'en est fait le défenseur. On utilisait l'ambre en Egypte dès les dynasties thinites, qui remontent à l'an 3300 av. J.-C. Cet ambre se récoltait au nord de l'Europe, dans la région balte. L'étain aussi arrivait en partie du nord, de ces mystérieuses Cassitérides, la Cornouaille, l'Armorique, peut-être une île entre elles. D'abord par voie de terre, il se peut. Mais dès 2400 les Crétois allaient le chercher eux-mêmes en franchissant les Colonnes d'Hercule. Sans doute surent-ils que les populations qui le récoltaient reculaient perpétuellement devant la mer.

Le géographe Strabon, au début de l'ère chrétienne, cite des auteurs plus anciens que lui, selon lesquels les Celtes, en perpétuel péril de mer, marchaient en armes contre l'Océan et se laissaient submerger plutôt que

de mourir. Il cite Ephore, contemporain de Platon, disant que la mer noie plus de Celtes que leurs perpétuelles guerres n'en tuent.

Le pays du métal, le pays des guerriers, le pays de la mer envahissante. Platon savait-il sans doute tout cela ?

Et les fonds vaseux qui aujourd'hui, nous dit-il, rendent cet océan difficile et inexplorable ne seraient-ils pas ceux du littoral atlantique français, qui encombrant les passes, entre La Rochelle et ses îles ?

On se demande d'autre part si la doctrine des druides, dont l'élévation morale et intellectuelle contraste avec le degré de civilisation assez fruste des peuples celte et gaulois, ne provenait pas d'une terre et d'une civilisation plus occidentales, en survivant au brassage des races.

La tradition fut sans doute constamment renouvelée par l'avancée continue de la mer depuis l'âge des plus vieilles dynasties égyptiennes jusqu'aux Grecs.

Il y a une certaine tendance en anthropologie et préhistoire à ne pas rajeunir l'Atlantide. Elle se base sur cette conception qu'une partie des Atlantes auraient pu émigrer sur les côtes d'Europe et d'Afrique et qu'ils seraient les ancêtres des Basques, race bien individualisée, et des Guanches, habitants des Canaries, les ancêtres de la race dite atlanto-méditerranéenne. Selon une supposition de l'ethnologue français Poisson, ces Atlantes émigrés ne seraient autres que la race préhistorique dite de Cro-Magnon dont on a trouvé des squelettes en Dordogne, race qui apparaît à l'époque de l'aurignacien, c'est-à-dire à la fin de la période glaciaire, à une date que, par diverses méthodes, on suppose être de l'ordre de 10 000 ans avant l'ère chrétienne. Ces hommes de Cro-Magnon, d'assez grande taille, seraient entrés en lutte avec la race occupante, dite de Combe-Capelle, à laquelle se rattacheraient les antiques populations égéennes, les Pelasges. On trouverait des réminiscences de ces luttes dans les mythologies grecque, celtique et même nordique sous forme de combats entre des géants et des dieux.

La tentation est donc grande en ethnographie de chercher argument dans des terres atlantiques disparues. La géologie moderne se gardera de s'opposer à cette tendance. Elle pressent bien que les canons-sondeurs et le perfectionnement de la cartographie sous-marine vont lui révéler d'autres données et d'autres problèmes aussi inattendus que ceux des vallées sous-marines. Dans ces problèmes, dont la solution demandera la coordination de toutes les sciences de la nature et de l'homme, pourquoi le nom de l'Atlantide ne reviendrait-il pas ?

Il faut bien conclure et reprendre les questions que nous nous sommes posées si simplement au début, et qui nous apparaissent maintenant dans toute leur candide hardiesse.

A travers la critique historique et géographique du texte platonicien, à travers les révélations des sciences du passé de la terre, nous avons cherché l'Atlantide et ne l'avons pas trouvée.

D'emblée, pourtant, nous avons modéré nos prétentions. Dans la plus vieille légende du monde, nous ne voulions qu'une paillette de vérité.

Mais nous l'exigions d'or pur. Car, authentique, elle scintillerait d'un reflet particulier que n'ont pas les objets, témoins ou traces des anciens hommes. Elle serait le plus antique souvenir direct de l'humanité, la plus longue démarche de la mémoire et de l'esprit; elle s'illuminerait comme un lointain phare sur la longue et vagabonde route des hommes dont tant de détours se sont perdus. C'est cela qui constitue son attrait et son véritable prix. Un prix que nous refusons d'acquitter en fausse monnaie de trop d'atlantomanes.

A plusieurs reprises cependant nous avons cru, de loin, l'apercevoir. Mirage ou image indistincte? Les pistes suivies s'en détournent-elles? Non, reconnaissons-le, c'est qu'elles ne sont pas encore ouvertes assez avant. C'est que, des résultats acquis, pourtant nombreux et riches, et des raisonnements qu'ils permettent, l'Atlantide nous dévoile la grossièreté et les lacunes en se déroband comme une récompense réservée à de plus grands efforts.

Notre voyage ne fut pas vain pour autant. Il nous a ouvert de larges perspectives, un peu de la dimension du temps et des espaces inexplorés, un aperçu de la mobilité du visage de la terre, depuis le début des hommes, un monde de grandeurs que notre esprit n'a que trop tendance à réduire, à racornir ou figer sitôt qu'il s'essaie à les remplir d'événements humains.

Dans cette immensité spatiale et temporelle avons-nous le droit de refuser une place à l'Atlantide? Si nous acceptons, et nous l'avons fait, de la dépouiller de sa parure d'orichalque et de son fatras d'organisation sociale et économique en la réduisant à sa raison élémentaire: celle d'une terre et d'une peuplade d'hommes jadis abîmées dans la mer sans laisser de trace, nous ne pouvons avec assurance répondre positivement.

Certes, le premier devoir de l'homme de science est le scepticisme, Claude Bernard nous l'a rappelé à bon escient. Mais le scepticisme seul est mortel. Aristote le sceptique, au lieu de hausser simplement les épaules au récit de son grand patron, eût mieux fait d'assurer les raisons de sa négation et de nous les dire. Valables ou non, elles sont à jamais perdues.

Mais entre l'incrédule Aristote et Platon le conteur, qui sans doute s'est laissé prendre au mirage de sa merveilleuse histoire, est-il impérieux de s'attarder à choisir? Pourquoi ne pas reprendre plutôt sans tergiverser davantage notre voyage de recherche — qui n'était qu'ébauché — en les y associant tous deux. D'Aristote, malgré tout, nous nous réclamons. Que sa pensée objective nous préserve des interprétations douteuses, des idées préconçues et des conclusions hâtives.

Nous emmènerons aussi Platon. Philosophe, il apprendra, comme Hamlet, qu'«il y a plus de choses dans le ciel et sur la terre»... et dans la mer aussi... «que dans toutes les philosophies». Mais au fait, à quel titre l'inviterons-nous? Non pas que nous espérons encore de lui quelque renseignement secret. Comme l'a dit Jean Cocteau du poète: «Il a tout découvert, mais il ne renseigne personne.» Platon, poète! La supposition a été risquée, timidement, comme si l'appel de la poésie pouvait être, pour un philosophe, autre chose qu'une promotion. Par trois fois Platon avait

fait le voyage de Sicile où, vainement, il avait espéré voir se réaliser son idéal d'organisation sociale. C'est à son dernier retour, au soir de la vie, déçu par son époque, qu'il rédige le *Timée* et le *Critias*, s'empare de l'Atlantide, y transpose son rêve... et crée un mythe.

Peut-être n'est-elle née, son île, que d'une merveilleuse intuition. Mais qu'il l'ait voulu ou non, le destin a fait de l'Atlantide un symbole : celui des luttes infinies des terres et des mers dont les rivages peuvent donner, l'espace de quelques générations, une illusion d'éternité, mais qui s'affrontent sans cesse, combien mouvantes, dans le temps déjà de l'aventure humaine.

Les sciences qui, un jour proche ou lointain, feront surgir une Atlantide d'une poignée de sable marin ou de quelques outils primitifs, et qu'anime l'espoir de telles découvertes, ces sciences n'ont pas à rejeter la poésie d'un symbole qui s'identifie si bien au leur. Que l'auteur du *Timée* ait été emporté par un mouvement poétique, nous ne le redoutons point. C'est même à ce titre que nous le voulons à bord. Heureux ceux, conscients ou non, qui dans la nature ou le laboratoire savent associer rigueur et poésie dans la grande aventure scientifique de notre temps.

Hommage soit aussi à Platon pour le caractère insolite, sibyllin et provocant de sa révélation. Cette terre évanescence qu'avec quelle subtile réserve il n'a mise nulle part, elle est latente partout. Attirante et railleuse comme une sirène, elle inquiète les schémas simplificateurs et assurés des historiens de l'humanité primitive. Par quelles Atlantides ignorées a-t-elle passé cette espèce humaine si mouvante, si multiple, si féroce et pitoyablement acharnée à vivre, au cours des centaines de millénaires pendant lesquels elle s'est opiniâtrement affirmée, aux prises avec la nature et ses revers, ses changements de climats, de rivages, d'habitat ? Nos collections d'outillages lithiques et de fossiles quaternaires sont-elles l'essence de la vie ou seulement l'un de ses reflets, combien précieux certes, mais fragmentaires et confus ? Cinq cent mille ans de luttes et d'espérances humaines seraient-ils exactement condensés dans les stratigraphies des cavernes et des ruines classiques ?

En vérité, l'histoire de l'humanité s'écrit encore comme la biographie d'un être dont on saurait seulement ce qu'il a pu faire pendant un jour à peine de chaque année de sa vie. Combien de vicissitudes à jamais perdues, mais que d'événements à découvrir encore dans le trésor du passé.

Croire à l'Atlantide ? J'ai garde de vous y inciter. C'est à sa recherche qu'il faut croire. C'est une tâche scientifique et possible. Chaque jour l'océanographie, la sédimentologie du fond des mers, la détermination des dates absolues par la radioactivité, nous apportent des ressources nouvelles. La vraie certitude c'est que la route sera riche de révélations insoupçonnées. Elle suffit. Platon croyait formuler un thème philosophique : plus encore qu'un symbole, c'est une hypothèse de travail qu'il nous a laissée, et une belle invite à larguer tout grand les voiles au grand vent de la découverte.

# **Bericht der Schweizer Virunga-Expedition in Zentralafrika 1954-55**

Von

ARNOLD HEIM (Zürich)

Freudig ergriff der Vortragende das Wort, vor allem, um die Dankbarkeit an die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft zu bezeugen, welche durch ihre finanzielle Unterstützung die geplante Expedition ermöglicht hat. Weiterer Dank gebührt der Hermann-Stoll-Stiftung und der Schweizer Stiftung für Alpine Forschungen.

Mein Plan war eine allgemein naturwissenschaftliche Rekognoszierung der Virunga-Vulkane am Kivu-See, bot doch diese einzigartig mannigfaltige Gegend höchstes Interesse in geologischer, botanischer, zoologischer und anthropologischer Hinsicht. Alle Stufen der tätigen und erloschenen Vulkane bis auf die hochalpinen, oft schneebedeckten Gipfel Mikeno 4437 m und Karisimbi 4507 m sollten untersucht werden.

Da von den 8 Virungas 5 ganz und die östlichsten 3 zur Hälfte im Parc National Albert du Congo Belge liegen, mußte zuerst die Genehmigung der Parkdirektion in Brüssel erlangt werden. Diese wurde auf Grund vieler Empfehlungen, worunter des Belgischen Ministers in Bern und des Kongo-Ministers in Brüssel laut offiziellem Brief vom 24. November 1953, erteilt, so daß die Vorbereitungen energisch an die Hand genommen werden konnten.

Als Mitarbeiter beteiligten sich die Herrrn cand. phil. HANS STAUFER, Botaniker; Dr. HANS GRABER, Zoologe, und JON FEUERSTEIN, Photograph.

Im Juli 1954 flogen wir mit der Sabena nach Bukavu am Südende des Kivu-Sees und bezogen in Goma, an seinem Nordende, ein Standquartier.

Bereits hatten wir mit unseren Arbeiten kräftig eingesetzt, als uns am 28. August der Administrator des Parks bei einer Einladung verkündete, daß uns laut Brief aus Brüssel die westlichen, tätigen Vulkane nur längs der offiziellen Pisten erlaubt und die östlichen ganz verboten seien. Nach einem Gesuch an den Präsidenten der Parkkommission, VAN STRAELEN, antwortete dieser:

«La lettre du 24 novembre est une manifestation de courtoisie et un agrément de principe sans plus.»

Ich stand vor der Wahl, die Expedition aufzugeben oder unsere Arbeiten, soweit möglich, außerhalb des Parks Albert fortzusetzen.

Wir zogen nach den östlichsten drei Virungas, deren Nordseite zu Uganda gehört, und genossen dort die Erlaubnis und Unterstützung der britischen Regierung zu ungestörter Arbeit. Wir errichteten ein Lager für viele Wochen bei 3000 m im Urwaldsattel zwischen Muhavura, 4127 m, und Mgahinga, 3475 m, bestiegen diese mehrmals sowie auch den zackigen Felskopf ohne Krater des Sabinyo, 3634 m.

In *geologischer Hinsicht* gewann ich manche neue Einsicht in die Beziehungen des uralten afrikanischen Grundgebirges zum jungen Vulkanismus. Die vielen, über mehr als 100 km gezeichneten Grabenverwerfungen der belgischen geologischen Karten sind größtenteils hypothetisch. Die einzelnen Vulkane sind meist nicht durch Verwerfungen miteinander verbunden, sondern entstammen selbständigen Schloten. Eine reichhaltige Sammlung der mannigfaltigen Eruptivgesteine von den sauersten bis zu den ultrabasischen und alkalireichen, sowie eine Kollektion von vielfach verzwilligten Augitkristallen wurde dem Mineralogisch-Petrographischen Institut der ETH zur Bearbeitung durch Spezialisten übergeben. Erwähnt mag hier noch sein die Bestätigung des Vorkommens von Tillit an der Luka, 22 km südlich Walikale, bei 1° 37' s. Br., also einer echten Moräne von rund 200 Millionen Jahre Alter mitten im tropischen Urwald.

Der Botaniker H. STAUFFER hat mit Hilfe seines zwei Meter hohen, zusammenlegbaren Petrolofens eine bedeutende Sammlung von Pflanzen der verschiedenen Höhenzonen in unermüdlicher Arbeit zustande gebracht. Sie wurde dem Botanischen Institut der Universität, Botanischer Garten, Zürich, übergeben, wo er sie größtenteils selbst bearbeiten wird. Die Flechten und Moose sind bereits in den Händen von Spezialisten. Außer dem Sammeln hat sich Herr Stauffer auch mit pflanzengeographischen und systematisch-phylogenetischen Untersuchungen befaßt.

Der Zoologe Dr. H. GRABER hat hauptsächlich seine Spezialität verfolgt. Anhand von Mikroskopen studierte er die Gesetze der Vererbung bei den Fliegen *Drosophila* und *Zaprionus*. Von etwa 20 Arten gelangen ihm Zuchtversuche, die nun in Zürich weiter verfolgt werden können. Er erkannte die Beziehungen in der Veränderung der Chromosomen und deren Gene zur Ausbildung der neuen Generation und der Artbildung. Nebenbei entdeckte er etwa 30 neue Spezies. Auch machte Dr. GRABER neue Beobachtungen im Verhalten von Reptilien.

Der Photograph J. FEUERSTEIN hat neben vielen Einzelaufnahmen besonders an einem farbigen Expeditionsfilm gearbeitet, der noch zusammenzufügen ist.

So dürfen wir wohl sagen, daß das mögliche getan wurde, um die Expedition doch noch zu einem erfreulichen Resultat zu bringen.

Die Projektion der Farbdias mit Erläuterungen hatte nicht den Zweck einer wissenschaftlichen Darstellung, sondern den gemischten Zuhörern des großen Saales einen allgemeinen Einblick zu geben in die

wunderbare Tropenwelt am Kivu-See, dem höchsten (1460 m) und schönsten der tropischen Seen der Erde, und in die ihm zur Seite sich majestätisch erhebenden Vulkane mit ihren Eruptionen, den riesigen Lavaströmen, sowie den älteren östlichen Vulkanen, deren Laven tiefgründig verwittert und mit Urwald in den verschiedenen Höhenzonen bedeckt sind. Dies ist die Heimat des dem Menschen am nächsten stehenden Tieres, des riesigen Berggorillas, der ein Bergsteiger ist. Wir sind ihm und seinen Nestern öfters begegnet und auf seinen Spuren emporgestiegen bis auf fast 4000 m.

Im neugegründeten Elisabeth-Park am Eduard-See (Uganda) durften wir mitten in der Wildnis das Zelt aufschlagen. Die Bilderserie bot zum Schluß einen herrlichen Einblick vom dortigen Leben der Hippos, der Elefanten und eines Löwen, der eben einen Büffel geschlagen hatte.

Tief bedauerlich ist es, daß die Regierungen der gleichen Länder, denen die Reservationen zum Zwecke des Naturschutzes zu verdanken sind, Lizenzen ausgeben und neuerdings Reklame machen für Großtierjagd. Wir haben zugesehen, wie Ausländer, darunter selbst indische Maharadschas, in nächster Umgebung der Parke Elefanten, Büffel und Gazellen töteten und deren Zähne oder Hörner mitbrachten. So wird die niedrigste Eigenschaft des Menschen, die Mordlust, geweckt und die einzigartig wunderbare Natur Afrikas weiterhin geschändet.

# Finalisme et physicisme

Symposium vom 25. September 1955  
veranstaltet von der Schweizerischen Gesellschaft zur Pflege der Logik  
und Philosophie der Wissenschaften

Leitung: F. GONSETH (Zürich)  
Referenten: A. PORTMANN (Basel), F. BALTZER (Bern)

## Votum von Adolf Portmann:

### *Physikalismus und Finalismus*

Das Problem der Beziehung von Physikalismus und Finalismus ist ein Glied der großen Frage, ob eine einheitliche Erklärungs- und Darstellungsweise im Bereich der Naturwissenschaften möglich sei. Die nachfolgenden Bemerkungen zu diesem großen Thema vertreten die Auffassung, die Komplexität des biologischen Forschungsobjektes widersetze sich einer monistischen Erklärung und fordere eine sinnvolle Kombination mehrerer Methoden, einen kohärenten Pluralismus. Am Beispiel des Farbwechsels höherer Tiergruppen wurde diese Position dargelegt.

Spontaner Farbwechsel ist im vorigen Jahrhundert und bis in die zwanziger Jahre unserer Zeit in streng monistischem Sinne interpretiert worden. Es galt, die Kette von Faktoren, die vom Außenreiz zum Farbwechsel führen, Glied um Glied aufzuzeigen, um die Erscheinung schließlich als Folge einer Kette kausal verstandener Vorgänge zu erfassen. Die Untersuchungen finden Sinnesorgane, Nervenzentren, Nerven, die zu Farborganen oder die zu Hormondrüsen führen. Letztere sondern Farbwechselhormone ab, welche die letzte Strecke zum Farbwechselorgan zurücklegen und den Farbwechsel einleiten. Da auch bei nervöser Übertragung die allerletzte Wegstrecke von der Nervenendigung zum Chromatophor durch hormonale Substanzen zurückgelegt wird (Adrenalin oder Acetylcholin z. B.), so scheint die Einheitlichkeit des Prozesses recht auffällig.

In allen diesen Experimenten und Deutungen wird Farbwechsel stillschweigend als ein einheitliches Phänomen aufgefaßt. Die Widersprüche in den Versuchsserien über Farbwechsel sind ungemein zahlreich, doch hat die Physiologie diesen trotzdem lange Zeit als Einheitsphänomen

zu erklären versucht. Nur von der Verhaltensforschung aus kommt heute ein Standpunkt zur Geltung, der die Vielheit der Erscheinungen betont: Farbwechsel ist ein Geschehen, das im Dienste sehr verschiedener vitaler Funktionen steht. Die ökologische und die morphologische Forschung zeigen schon jetzt die folgenden Funktionskreise:

1. Dienst innerhalb der Anpassungsfunktion (Tarnung).
2. Einordnung in den Wärmehaushalt (thermische Regulation).
3. Eingliederung in die Mittel sozialer Kundgabe (Ausdrucksfunktion, die sehr oft Auslösercharakter für ganz bestimmte Verhaltensweisen haben kann).
4. Farbwechsel als Glied der Selbstdarstellung, eine immer deutlicher als oberste biologische Funktion erkannte Leistung.

Von diesen vier Funktionen, denen sich wohl noch andere zugesellen werden, wird im allgemeinen nur die erste in den physiologischen Deutungsversuchen vorausgesetzt und die gesuchte Kausalkette auf sie hin konstruiert. Die Betrachtung der ganzen Wirklichkeit erfordert aber von vornherein eine Pluralität der Standorte, der auch die Kompliziertheit der auszudeutenden Strukturen entsprechen muß. Die letzte uns zugängliche Gegebenheit wird von der Verhaltensforschung wie von der Morphologie in der «Stimmung» gesehen, d. h. in einer Befindlichkeit des Ganzen, deren strukturelle Grundlage wir nicht kennen.

Angesichts dieser Tatsache ist die Biologie genötigt, in ihren Deutungsversuchen das zu erforschende Ganze als eine unbekannt umfassende Realität zu setzen und in dieser unbekannt Wirklichkeit einzelne zu erforschende Bezirke auszugliedern. Das Beispiel des Farbwechsels sollte uns zeigen, daß eine solche Ausgliederung immer und ausnahmslos von einer «Rolle» im Lebensspiel ausgehen muß. Eine solche Untersuchung ist Bedeutungsforschung und als solche von Grund auf etwas anderes als die Ermittlung einer kausalen Kette von Ursachen und Wirkungen. Diese letztere ist nur ein Glied im großen Ganzen, wie wichtig uns auch in gewissen Blickrichtungen dieses besondere Glied sein kann. Was hier für den Farbwechsel angedeutet wird, gilt ganz genau gleich für die Erbforschung; auch hier wird die Kausalkette vom Gen zum Merkmal gesucht, aber stets als ein bescheidenes Glied in einer größeren unbekannt vorgegebenen Wirklichkeit vorgefunden. Von diesem umfassenderen Ganzen, aus dem die Forschung Ausgliederungen vornimmt, wissen wir, daß es als eine Vorwegnahme künftiger Möglichkeiten, als eine Antizipation von kommenden Abläufen aufgefaßt werden muß. Dieser Entstehungsentwurf schließt von vornherein aus, daß der Organismus in monistischer Absicht den physikalisch-chemischen Abläufen einfach gleichgesetzt wird. — Alle Kausalforschung am Lebendigen, die sich der physikalischen Methoden und Formulierungen bedient, erfolgt unter momentanem Absehen von der vorgegebenen Antizipationsstruktur; sie geschieht durch Abblenden eines großen Teils der Wirklichkeit und bewußte Beschränkung auf bestimmte Teilvorgänge. Die Ergebnisse dieser

physikalistischen Formulierungen können sinnvoll nur angewandt werden, wenn sie nachher wiederum als Glieder in eine Struktur der Antizipation eingeordnet werden.

Die biologische Forschung hat in jüngster Zeit den Vitalismus überwunden, aber nicht zugunsten einer Zuwendung zum Mechanischen, sondern durch den Verzicht auf die Anwendung von ganzmachenden Faktoren, wie etwa die Entelechie im Sinne DRIESCHS einer war. Die neue biologische Haltung ist die einer autonomen Forschungsweise in einem besonderen Bereich der unbekanntenen Wirklichkeit. Diese biologische Forschungsweise beruht auf der komplementären Anwendung der Methoden der Bedeutungsforschung einerseits (also eines kritischen Finalismus) und der Kausalforschung im physikalisch-chemischen Sinne (also eines Physikalismus) andererseits. Die Anerkennung der besonderen, komplexen Natur des biologischen Gegenstandes ist die Voraussetzung aller kritischen Arbeit im Bereich der Lebensforschung. Die monistischen Versuche scheiterten nicht zufällig daran, daß sie mit unzulänglichen Einheiten (z. B. Genen, Zellen, Reflexen usw.) das Ganze vorschnell aufzubauen suchten, statt das unbekanntere Reale des Lebendigen als eine stete ungelöste Forschungsaufgabe zu sehen.

### Votum von Fritz Baltzer

Es sei zunächst versucht, die beiden Begriffe des Symposiumtitels zu umschreiben. *Physicisme*: Wenn in einer Reihe von Zuständen oder Vorgängen eine bestimmte zeitliche Folge besteht und dabei die späteren Zustände von den vorausgehenden bedingt werden, liegt ein Kausalnexus, eine Kausalreihe vor. Abhängigkeiten dieser Art sind charakteristisch für die Vorgänge in der Chemie und Physik. *Finalisme*: Beim Menschen gibt es neben diesen ersten eine grundsätzlich andere Abhängigkeit, den finalen Ablauf, den Finalnexus. Der Mensch kann ein zu erreichendes Ziel vorausplanen, und dieses bestimmt (als *vorweggenommene Ursache*) die dazu notwendigen vorausgehenden Handlungen und zu seiner Erreichung zweckmäßigen Mittel.

Es sei schon hier hervorgehoben, daß für den Begriff der Zweckmäßigkeit bereits von Kant eine prinzipielle Unterscheidung zwischen regulativer und konstitutiver Zweckmäßigkeit gemacht worden ist. Wenn sich ein Organ in Form, Struktur und Funktion zweckmäßig verhält, so braucht dies trotzdem nicht in konstitutiv-finalem Sinn analog der menschlichen Planung gedeutet zu werden. Wir werden als Beispiel eines solchen regulativ-zweckmäßigen, nicht teleologischen Verhaltens die Entstehung von Anpassungen durch Mutation und Selektion zu erwähnen haben.

Unsere Grundfrage wird also sein, welchen Platz die eigentliche konstitutive Finalität allgemein bei Lebewesen einnimmt. Sie ist von jeher durch die bei allen lebenden Organismen beobachtete *Zweckmäßigkeit in Bau und Verhalten* besonders eindringlich gestellt worden und mit

zahlreichen allgemeinen Eigenschaften des Lebendigen verknüpft. Ich möchte, um einen allgemeineren Boden zu gewinnen, einige der Eigenschaften betrachten, in denen sich lebendige und tote Materie unterscheiden. Zum Teil sind diese Unterschiede durchaus landläufig, machen aber das Problem der Finalität deutlicher.

*1. Selbstreproduktion und Individualisation der organischen Systeme.*

Die anorganischen Körper können, wenigstens im Prinzip, aus ihren chemischen Elementen aufgebaut werden. Die organischen Systeme aber, die Lebewesen, entstehen durch Selbstreproduktion immer nur aus ihresgleichen. Ein heute viel diskutiertes Teilsystem dieser Art sind die Gene: Nukleoproteine von hochmolekularem Bau mit der Fähigkeit identischer Verdoppelung. Es gibt meines Wissens im anorganischen Bereich keine freien, selbstreproduzierenden Makromoleküle. Die Stellung der Viren möge in der Diskussion erörtert werden.

Alle organischen Systeme haben eine *individualisierte* Form. Es können zwar auch anorganische Bildungen individualisiert sein, so die Kristalle, die Somatoide u. a. Aber die organischen Systeme sind ihnen gegenüber Individuen weit höherer, andersartiger Strukturstufen mit besonderen Kriterien. Auch sie bestehen zwar aus zahllosen anorganischen Teilsystemen, die den Gesetzen der Chemie und Physik unterliegen, aber diese Teilsysteme sind stufenweise zu einem übergeordneten und geformtem Ganzen zusammengefaßt. Die *Form* – eine Folge der Individualisierung – spielt hier als erwachsener Zustand, als Entwicklungsstufe und (in der Morphogenese) als Grundlage für räumlich geordnete Entwicklungsfaktoren eine ganz entscheidende Rolle. In diesem geformten Ganzen sind die Teile gegenseitig voneinander abhängig. Sie stützen und beeinflussen sich gegenseitig, alles dies «angepaßt» im Sinn der Erhaltung des ganzen Systems, der *Lebenserhaltung*. Im Sinne dieser Zweckmäßigkeit wirkt auch die schon genannte Fähigkeit der Selbstreproduktion.

*2. Beziehung zur Umwelt.* Die Individualisation bedeutet für jedes Individuum eine Abgrenzung gegenüber der Umwelt. Jedoch liefert diese alles zum Stoffwechsel Notwendige. Die lebenden Individuen bauen dieses Material selbsttätig, zweckmäßig und arteigen in ihr System ein. Sie sind mit ihrem Stoffwechsel und andererseits mit ihren Sinnes- und Bewegungsorganen *in ihre Umwelt eingepaßt*. Hier ist also immer wieder nach dem Charakter dieser «Zweckmäßigkeiten» und Anpassungsfähigkeiten zu fragen.

*3. Der historische Charakter.* Alle Organismen haben eine historische Entwicklung. Jede Art hat ihre besondere Stammesgeschichte, ohne die weder ihr Bau noch ihr Verhalten verstanden werden können. Dieser historische Charakter bildet bekanntlich die Voraussetzung für das natürliche System mit seinem unerhörten Reichtum an einzelligen und vielzelligen Formen der Pflanzen- und Tierwelt einschließlich des Menschen. Die eine Voraussetzung für diese historische Entwicklung ist die schon genannte Selbstreproduktion, repräsentiert durch die normale Stabilität

der Erbgrundlage, worunter hier Genom *und* Eibau verstanden sei. Die andere Voraussetzung ist im Gegensatz dazu die Abänderungsfähigkeit aller Lebewesen, gegeben durch die gelegentliche Abänderungsfähigkeit der Erbgrundlage. Wie weit hier als abändernder Faktor die Mutationen ausreichen, wird noch erörtert werden.

Der historische Charakter ist in zwei Formen gegeben: in der *Stammesgeschichte* (der Phylogenese) der Arten und der höheren systematischen Gruppen und in der *Ontogenese* der Individuen. Es ist prinzipiell wesentlich, daß sich Phylogenese und Ontogenese *wechselseitig bedingen*.

Diese wechselseitige Bedingtheit ist von besonderer, dem anorganischen Bereich durchaus fremder Art. Nehmen wir die vielzelligen Organismen als Beispiel: Ihre ontogenetischen, in jeder Generation sich wiederholenden embryonalen Zustände, der Bau des Eies, des Genoms und der frühembryonalen Anlagen sind in ihrer Entwicklung, ihrer Struktur und Form auf die *zukünftige* erwachsene Organisation «*ausgerichtet*». Umgekehrt wird letztere in der Embryonalentwicklung «*vorausgenommen*», und zwar geschieht dies in einer dem erwachsenen Zustand erst allmählig sich annähernden Struktur und Form. Auch im Ei ist diese Voraussetzung gegeben, jedoch in einer von den späteren Zuständen durchaus verschiedenen submikroskopischen und mikroskopischen Struktur. Die Ursachen für diese außerordentlich merkwürdige «Ausrichtung» und «Vorausnahme» liegen in der Stammesgeschichte. Dies kann als reiner Kausalnexus formuliert werden. Aber eine solche Formulierung ist sehr simplizistisch und wird den Tatsachen nicht gerecht. Man muß NICOLAI HARTMANN wohl recht geben, wenn er hier einen besonderen «*nexus organicus*» annimmt, der weder ein rein kausaler noch ein rein finaler Zusammenhang sein soll. «Es wird höchst unwahrscheinlich», sagt er, «daß in den organischen Prozessen mit ihrer erstaunlichen Ausrichtung auf die entfaltete Form und das Zweckmäßige nicht eine weitere, *uns unbekannt*e Form der *Determination*, ein besonderer *nexus organicus* enthalten sein sollte.» (NICOLAI HARTMANN, Philosophie der Natur, Gruyter, Berlin 1950, S. 689.)

Schon die allem Anorganischen fremde Existenz einer Ontogenese und Phylogenese mit ihrer wechselseitigen Beziehung, ebenso die Überschichtung der anorganischen Systeme durch ein übergeordnetes und geformtes Ganzes können dieses Postulat stützen.

Zur Charakteristik der Phylogenese seien zwei Bemerkungen hinzugefügt. Die erste betrifft die artbildenden richtungslosen *Mutationen*. Sie können in Verbindung mit *Selektion* und den Lebensbedingungen einer bestimmten Umwelt zur Erklärung zahlreicher Neubildungen und Anpassungen genügen. Die Selektion selbst ist notwendig gegeben durch die Vermehrungsquote der Individuen. Diese neodarwinistische Erklärung ist ein Musterbeispiel für die Annahme der Entstehung von «Zweckmäßigem» ohne Finalität, zugleich auch in der Tatsache der Selektion ein Beispiel für eine dem Anorganischen fremde, *spezifisch biologische* Gesetzmäßigkeit. Der Referent möchte die Entstehung des Farbwechsels und der Farbanpassungen, von denen Herr PORTMANN sprach, und die

Entstehung der Mimikry zu solchen Fällen rechnen. Dagegen möchte er bezweifeln, daß der gleiche Mechanismus für so viele andere komplizierte Fälle organischer «Zweckmäßigkeit» genügt und stammesgeschichtlich für die Entstehung der großen systematischen Gruppen (der Klassen und Stämme) ausreicht.

Die zweite Anmerkung betrifft das Problem der *orthogenetischen*, d. h. zielgerichteten *Entwicklung*. Daß in der Stammesgeschichte Entwicklungsreihen sehr häufig sind, wird durch die Paläontologie bewiesen. Die Pferdereihe ist ein Beispiel. Zur Diskussion aber steht, ob hierfür die soeben erwähnte neodarwinistische Formel der Selektion und Mutation ausreicht. Das Problem muß nach Ansicht des Referenten von der entwicklungsphysiologischen Beziehung her betrachtet werden, die zwischen Ontogenie und Phylogenie besteht. Stammesgeschichtliche Neuerungen sind primär durch Veränderungen in der Erbgrundlage der Geschlechtszellen der Ausgangsform veranlaßt. Gleichzeitig ist das Erbgut (Genom und Eibau) und der Verlauf der Ontogenese auf die zugehörige erwachsene Organisation der Ausgangsform ausgerichtet. Diese Verankerung bedeutet bei stammesgeschichtlichen Neuerungen eine Kanalisierung. Die stammesgeschichtlichen Neuerungen können nicht in beliebiger Richtung gehen, sondern sie müssen mit der bisherigen stammesgeschichtlichen Linie in Beziehung stehen.

Damit wird ihnen eine Richtung gegeben. Es ist einleuchtend, daß dieses Verhalten einerseits kausal und andererseits beschränkt zielbedingt ist.

Ich möchte auch zur *Charakteristik der Embryonalentwicklung*, diesem Inbegriff organischen Werdens, eine Bemerkung beifügen. Sie hat im normalen Fall einen imponierend regelmäßigen Ablauf. Die einzelnen, charakteristisch geformten Stadien folgen sich in gesetzmäßiger Abwicklung. In das Innere der Gesetzmäßigkeit sehen wir jedoch beim normalen Ablauf nicht hinein. Sobald aber experimentell abgeänderte Entwicklungsbedingungen gesetzt werden, manifestiert sich eine unerwartet große und zugleich doch begrenzte Plastizität. Dabei spielen als Faktoren in der ersten Entwicklung des Eies variable, anpassungsfähige Stoffgleichgewichte, Stoffgefälle und -konkurrenzen eine wichtige Rolle, wobei dieses stoffliche Material schon aus den verschiedensten hochorganisierten Systemen zusammengesetzt und anorganischen Verhältnissen schon übergeordnet ist. Auch diese Plastizität ist auf die Entwicklung der zukünftigen Organisation «ausgerichtet». Beziehen sich die erwähnten Ergebnisse auf die Entwicklung des Seeigeleies, so zeigt uns die experimentelle Analyse der Amphibienentwicklung eine ähnliche Plastizität in etwas späteren Embryonalstadien. Sie zeigt insbesondere, wie bestimmte Keimbereiche als Induktoren die Entwicklung ihrer Nachbarbereiche (auf stofflichem Wege) beeinflussen und welche entscheidende Rolle das *räumliche Ganze* spielt, auch hier als Vorstufe der späteren Organisation.

Solche Beispiele können dem aus N. HARTMANN zitierten Postulat eine konkrete Unterlage geben und deutlich machen, daß es mit einem Pochen auf die Kausalität, aber auch mit dem Schlagwort der Finalität

nicht getan ist. Das Problematische bleibt die Mischung von Kausalität und Zielbedingtheit. Damit kommen wir zum letzten Abschnitt, der als genaueres Beispiel für das eben Gesagte dienen mag.

4. *Zweckmäßige embryonale Regulationen.* Als Beispiel sei eine Regulation bei explantiertem embryonalem Amphibienmaterial erläutert. In der jungen Molch- oder Froschgastrula (und weniger bestimmt auch schon im befruchteten Ei) sind die zukünftigen Organe des Embryos als ein Mosaik flach ausgebreiteter Bezirke vorgezeichnet, zum Teil schon wirklich determiniert (Chorda, Muskelsystem, Darmgewebe), zum Teil noch labil (Nervensystem, Epidermis). Damit ist auch die grundsätzliche harmonische Organisation des fertigen Tieres vorweggenommen.

Schneidet man aus dem zukünftigen Chordabereich (die Chorda ist die Vorläuferin der Wirbelsäule) der jungen Gastrula ein kleines Stück heraus und züchtet es als Explantat in einer neutralen Salzlösung (HOLT-FRETER 1938), so wächst dieses Fragment weiter. Es bildet sich aber in ihm nicht nur Chorda aus, wie es bei normaler Entwicklung im Ganzkeim der Fall gewesen wäre, sondern die explantierte Gewebemasse *organisiert sich in sich selbst* und produziert in bestimmten Proportionen außer Chorda auch Muskulatur, Rückenmark, Haut und Darmgewebe. «Die Entwicklung des isolierten Keimteiles läuft in eine Bahn, *welche in die Richtung auf einen harmonischen Organkomplex zielt.* Sie ist regulatorisch. Allerdings hat die Regulation ihre (in diesem Fall gut analysierten) Grenzen.» (A. KÜHN, Entwicklungsphysiologie, Springer, Berlin 1955, S.250.)

Man kann dieses Verhalten als eine begrenzte adaptive Finalität bezeichnen. Zweifellos liegt in ihm etwas vom Teleologischsten, das bei biologischen Experimenten beobachtet werden kann. Zu bedenken ist, daß schon in der normalen Ontogenese die Frühstadien auf die fertige Form ausgerichtet sind. Die regulative Entwicklung des *Fragmentes* zu einem *ganzen harmonischen Organkomplex* geht jedoch über diese normale Ausrichtung weit hinaus. Sie kann kaum stammesgeschichtlich und sicher nicht auf dem Wege über Mutation und Selektion «gelernt» worden sein. Denn der Experimentator wiederholt nicht von ferne einen Vorgang, der sich in der Stammesgeschichte oder in der normalen Ontogenie einmal ereignet hat. Wir müssen solche organisatorische Leistungen als eine allgemeine Fähigkeit junger Embryonalsysteme betrachten.

So scheint es mir angesichts der Eigenart und der Komplikation organischer Vorgänge ein Fortschritt, im Sinne N. HARTMANNs spezifisch biologische Determinationsformen zu suchen. Das Gesagte mag dargetan haben, wie weit uns die Betrachtung der organischen Systeme von derjenigen der anorganischen Systeme entfernt. Es schiene mir eine lohnende Aufgabe für die Diskussion, wenn die Chemiker und Biochemiker umschreiben würden, in welchem Grade doch auch ihre hochentwickelten anorganischen Systeme Analogien zu den hier skizzierten Eigenschaften der Organismen aufweisen.

## Diskussion

J. PIAGET (Genf-Paris) eröffnet die Aussprache und bemerkt, daß es einigermaßen paradox sei, wenn ausgerechnet ihm als Psychologen die Aufgabe zufällt, den konsequenten Antifinalismus gegen die Angriffe der Biologen zu verteidigen:

Die Idee der Finalität birgt neben der eigentlichen Vorstellung eines auf ein Ziel gerichteten Prozesses noch andere Vorstellungen, wie Ganzheit, Anpassung und Vorausnahme (anticipation), denen man ohne weiteres zustimmen kann, die aber ohne den Begriff der Finalität im engeren Sinne erklärt werden können. Etwas Gerichtetes muß nicht unbedingt auch final sein, das zeigt schon der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. — Das Bewußtsein ist nicht selbst eine wirkende Kraft, sondern ein logisch gegliedertes System von zum Teil antizipierenden Vorstellungen. Entscheidend ist die Fähigkeit des Voraussehens; die Idee der Finalität beruht auf einer Konfusion der Kausalität mit diesen implikativ verbundenen Bewußtseinsinhalten. — Entwicklungsgeschichtlich ist bemerkenswert, daß der Begriff der Finalität beim Kinde sehr früh und vor dem Begriff der Kausalität erwacht.

In der Diskussion, an der sich außer dem Vorsitzenden und den Referenten die Herren BERNAYS, BOILLAT, FERRERO, REGLI, SCHÜEPP und WALTER beteiligen, werden die beiden Auffassungen näher umrissen:

- a) Das Wissenschaftliche wird nicht durch das Physikalische erschöpft. Auch wenn damit auf eine an sich wünschenswerte Einheitlichkeit verzichtet werden muß, können wir einer zur analytischen Forschung komplementären Erlebnisforschung nicht entraten, so wenig wie man etwa bei der Bestimmung einer Pflanze qualitative Bezeichnungen (Farbe statt Wellenlänge usw.) entbehren kann. Die analytische Methode führt zwangsläufig zur Kausalität, aber diese genügt nicht, denn es gibt Dinge, die nicht kausal erklärt werden können. Es geht in der Biologie um eine neue Erfassung der Wirklichkeit.
- b) Die Biologie kann in ihrer Methodik nicht über die Physik hinausgehen. Wir müssen versuchen, mit den bekannten Begriffen auszukommen, und wo das nicht geht, nicht vor dem Eingeständnis zurückschrecken, daß wir eben etwas nicht oder noch nicht verstehen. Es gibt viele Geheimnisse in der Biologie und noch mehr in der Psychologie, aber man löst sie nicht einfach durch Hinzunahme zusätzlicher philosophischer Begriffe. Was hat man effektiv gewonnen, wenn man von einem nexus organicus spricht oder einen Prozeß als final bezeichnet?