

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: 118 (1937)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.01.2026

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

Discours d'ouverture du Président annuel

de la S. H. S. N. devant la 118^e Assemblée générale

Par

GEORGES TIERCY, Genève

Mesdames et Messieurs,

Chers collègues de la Société Helvétique

Les membres genevois de la Société Helvétique des Sciences Naturelles sont profondément heureux de vous accueillir à nouveau, aujourd'hui, dans cette marche occidentale de la Suisse, où notre Société a été fondée, il y a 122 ans. C'est en effet en 1815 que les savants genevois, entraînés par la ferveur d'Henri-Albert Gosse, eurent l'idée de réunir en une seule et grande famille tous les groupes de recherches scientifiques du pays suisse; et ce fut la création de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

Rendons ici un hommage aux fondateurs de notre Société; ils furent des novateurs; soutenus par leur enthousiasme, ils ne s'arrêtèrent pas aux difficultés du chemin, et réalisèrent leur plan. Vous savez la suite; la petite phalange du début est devenue la belle Société que vous connaissez; et celle-ci se doit, se réunissant aujourd'hui dans le lieu même où elle fut fondée, d'accorder une pensée de gratitude à ceux qui ont eu le courage de prendre des décisions importantes et qui ont eu foi dans la force de leur idée, dont nous sommes les heureux bénéficiaires.

Mes chers collègues, vous tous qui êtes accourus, venant de tous nos cantons suisses, venant aussi des pays étrangers ou d'autres continents, soyez ici les bienvenus. Au berceau de votre Société, vous êtes chez vous. Et ce sentiment ne peut qu'être renforcé par la considération du cadre que nous avons choisi pour vos délibérations; sans doute aurions-nous pu choisir des bâtiments plus modernes, des salles plus luxueuses peut-être; nous avons préféré

vous réunir dans les locaux de l'Université; certes, tout n'y est pas neuf, tout n'y est pas beau! Mais c'est là que se fait le travail continu de la recherche scientifique genevoise; là s'élaborent de multiples travaux qui se rattachent aux vôtres; là, vous êtes bien chez vous. Nous espérons que vous vous y sentirez à l'aise.

Il ne saurait être question de faire ici, même en raccourci, l'histoire de la Société Helvétique; loin de moi cette idée. Je veux cependant préciser que l'Assemblée générale de 1937 est la dixième réunion tenue à Genève. La première est celle de 1815, dans laquelle notre Société fut fondée sous la présidence d'Henri-Albert Gosse; puis vint la réunion de 1820, présidée par Marc-Auguste Pictet, l'un des fondateurs de la *Bibliothèque Universelle*; en 1832, la Société se réunissait sous la présidence de l'illustre Augustin-Pyramus de Candolle; vinrent ensuite les assises de 1845, puis celles de 1859, puis celles de 1865, toutes trois présidées par Auguste de la Rive; en 1886, l'Assemblée générale était sous la présidence de Louis Soret; la Société s'est réunie pour la huitième fois à Genève en 1902 sous la présidence du physicien Edouard Sarasin, père du professeur et colonel Charles Sarasin, et qui devint plus tard président central; enfin, la neuvième réunion tenue à Genève fut celle de 1915, celle du Centenaire de la Société, sous la présidence du très regretté Amé Pictet, qui nous a quittés au printemps dernier pour un monde meilleur. Les présentes assises viennent donc bien en dixième rang dans la série genevoise.

Si je me suis permis, mes chers collègues, de dresser à votre intention cette courte liste, ce n'est pas pour le plaisir d'écrire des dates, si importantes qu'elles soient; mais essentiellement pour vous rappeler les noms des neuf savants de grande envergure, qui ont présidé à vos travaux à Genève. Les deux derniers en date sont encore tout près de nous; il est certain qu'un grand nombre d'entre les participants à cette assemblée se souviennent avec émotion d'Edouard Sarasin et d'Amé Pictet, davantage peut-être du dernier nommé, qui a travaillé dans nos rangs jusqu'au printemps dernier. Si Edouard Sarasin, directeur des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, bien connu par ses expériences sur les ondes hertziennes, fut président central de la S. H. S. N. de 1911 à 1916, Amé Pictet restera l'une de nos plus pures gloires scientifiques.

Quelle admiration et quelle reconnaissance ne devons-nous pas à ces neuf anciens présidents, qui ont jeté sur notre Société, par

leur compétence, leur distinction, leurs propres travaux, leur bonne grâce exquise, un si vif éclat.

Messieurs et chers collègues, le dixième président genevois, après vous avoir rappelé les noms illustres de ses prédécesseurs à ce poste, mesure avec confusion toute son insuffisance. C'est malgré moi que mes collègues de Genève vous ont suggéré l'an dernier de me porter à ce poste; j'aurais préféré voir à la présidence l'un des éminents collègues qui m'ont accordé leur appui et leur collaboration comme membres du Comité annuel; c'est grâce à leur dévouement que j'ai pu remplir ma lourde tâche, sinon avec l'éclat qu'y ont apporté mes prédécesseurs, du moins avec une conscience égale à celle de ceux-ci.

Il me paraît utile de rappeler ici que la Société Helvétique des Sciences Naturelles a répondu cette année à l'invitation que lui avait adressée notre vieille Société de Physique et d'Histoire naturelle, appuyée par la Section des Sciences mathématiques et naturelles de l'Institut National Genevois; par voie de conséquence, le Comité annuel de 1937 a été constitué, à une exception près, par des membres de la Société de Physique et d'Histoire naturelle, et dont plusieurs appartiennent en même temps à la seconde société invitante.

Je voudrais profiter de l'occasion qui m'est offerte pour remercier du fond du cœur mes collègues de ce comité, dont chacun a travaillé avec dévouement pour le bien de la Société Helvétique tout entière.

Et puisque j'en suis aux remerciements, je veux exprimer aussi ceux que nous devons aux Sociétés scientifiques genevoises qui ont soutenu et encouragé notre effort; il s'agit, en outre des deux sociétés invitantes et responsables, de la Société botanique genevoise, de la Société de géographie et de la Société médicale.

L'une des tâches les plus importantes du Comité annuel, vous le savez, est le choix et la préparation des conférences générales qui doivent illustrer la session, et qui resteront, du moins dans mon idée, comme une des caractéristiques de la réunion. Cette préparation n'est point aisée. Le comité de 1937 a désiré que les trois conférences générales qui vous seront offertes, aujourd'hui même vendredi et dimanche matin, constituent un programme aussi varié que possible; et nous avons finalement porté notre choix sur une conférence de biologie, une de météorologie dynamique et une de

physique solaire. Si cet ensemble ne donne pas une image complète des préoccupations scientifiques des sections de notre Société, il a du moins le mérite de toucher à trois domaines bien différents; et il me paraît que cette variété même est de nature à vous plaire, surtout si vous voulez bien considérer que la science de l'atmosphère terrestre et l'astronomie solaire ont été jusqu'ici quelque peu laissées de côté dans la composition des programmes de conférences générales. Il convient cependant de remarquer ici que les questions atmosphériques et solaires sont, sous certains aspects, de première importance pour la biologie et les sciences médicales.

Faire allusion à la conférence générale de biologie nous rappelle, Messieurs, qu'un voile de deuil s'est étendu sur nos travaux au printemps dernier. Celui qui avait accepté de nous parler des idées actuelles sur la structure des chromosomes, et dont nous étions certains que sa causerie serait particulièrement lumineuse, notre cher et grand ami André Naville, nous a été enlevé en pleine activité, en pleine jeunesse, par une courte et terrible maladie. Je ne puis faire autrement que de vous dire combien le Comité annuel a été affecté par ce deuil; André Naville était d'ici; chercheur infatigable, savant universellement considéré, il était notre ambassadeur scientifique à l'Université d'Istamboul, qui a perdu avec lui l'un de ses plus brillants professeurs, en même temps que la Société Helvétique perdait l'un de ses membres les plus éminents. Le Comité annuel a dû s'employer à réparer l'effet de cette catastrophe, qui nous privait de l'un de nos conférenciers. Nous avons cherché et trouvé, parmi ceux de nos collègues qui avaient connu et aimé Naville, celui qui a accepté de nous faire à sa place une causerie de biologie.

Si ce deuil a provoqué le plus grave souci auquel le Comité annuel ait eu à faire face, ce souci ne fut pas le seul; il y en eut d'autres, de plus ou moins grande importance; je m'en voudrais de vous en entretenir. Cependant, je considère comme un devoir de vous signaler la déception que nous avons éprouvée lorsque nous avons demandé à la Direction générale des C. F. F. d'accorder aux membres de la Société Helvétique des Sciences Naturelles les mêmes facilités de transport qu'on accorde à tout visiteur de comptoir ou de salon industriel; nous espérions qu'on voudrait bien considérer en haut lieu qu'il n'y a qu'une seule et unique Société Helvétique des Sciences Naturelles et qu'on tiendrait compte de l'importance qu'elle

revêt pour le rayonnement de la Suisse. Il nous fut répondu que les C. F. F. ne pouvaient nous accorder aucune facilité spéciale, et qu'ils réservaient leurs faveurs aux « visiteurs d'expositions intéressant l'ensemble du territoire de la Confédération et aux participants actifs aux grandes fêtes fédérales ». Il paraît donc qu'aux yeux du Conseil d'administration des C. F. F., la S. H. S. N., unique en son genre et représentant notre pays auprès des grandes Unions scientifiques internationales, prototype des Sociétés Helvétiques qui ont créé et développé l'esprit fédéral, ne mérite pas qu'on facilite ses réunions générales et ses séances de travail; elle passe après les simples curieux ou visiteurs commerciaux. Je livre ce fait à vos méditations; pour ma part, sans vouloir lui attribuer une importance exagérée, je n'hésite pas à dire qu'il est affligeant à plus d'un titre.

Mes chers collègues, l'usage veut que le président annuel ouvre la session par l'exposé d'une question intéressant l'activité de telle ou telle section de notre Société.

Votre président de 1937 est astronome et astrophysicien; vous ne vous attendez donc pas à ce qu'il vous entretienne de biologie ou de sciences médicales (quoique, vous le savez bien, l'astronomie et la médecine aient certains liens de parenté; d'anciens, c'est certain; et de nouveaux, peut-être).

Ma première idée a été de vous parler de l'un des chapitres d'astronomie moderne qui me préoccupent le plus; mais j'ai dû abandonner ce projet, parce que l'astronomie fournira déjà le sujet de l'une des conférences générales; en consacrant encore ma causerie de ce jour à un problème d'astrophysique, je risquais de me voir reprocher, par l'un ou l'autre d'entre vous, de favoriser outrageusement la discipline qui m'est chère; et quand bien même elle eût mérité cette faveur (car, ne l'oubliez pas, elle est la mère des autres sciences, la créatrice de l'esprit scientifique), je n'ai pas voulu courir ce risque. Et j'ai tourné la difficulté, au moins en partie, en choisissant de vous parler des observatoires astronomiques de haute montagne, et particulièrement de celui du Jungfrauoch; sans doute vais-je encore m'occuper d'astronomie, mais du moins ne vais-je pas m'attacher à un problème déterminé; d'autre part, je resterai davantage « par terre »; enfin, et surtout, je touche là une question qui intéresse au premier chef la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

Comme vous le savez, c'est en 1927 que la Commission du Jungfrauoch décida d'abandonner l'astronomie à son sort, pour concentrer ses efforts sur la biologie et la physiologie.

La décision fut-elle heureuse ou malheureuse? Je n'en sais rien; un débat sur ce point serait parfaitement oiseux. Je rappelle un fait; c'est tout. Et je voudrais maintenant vous indiquer tout simplement ce qu'il advint; car beaucoup d'entre vous l'ignorent et ne comprennent pas pourquoi c'est l'Observatoire de Genève qui s'est chargé de construire là-haut une succursale astronomique.

Mais remontons un peu plus haut dans le temps, et voyons ce qui s'était fait ailleurs. Rassurez-vous; je ne veux pas vous faire une énumération des essais astronomiques faits en haute montagne; je veux uniquement vous rappeler que des stations astronomiques de haute altitude, stations permanentes bien entendu, ont été construites avant la nôtre. Chacun d'entre vous a sans doute entendu parler de l'Observatoire français du Pic du Midi, dont l'altitude est de 2866 mètres. On envisage, actuellement, d'établir un téléphérique pour atteindre facilement et rapidement cet observatoire; mais, pour l'instant, on y accède par un chemin muletier.

L'Amérique possède quelques observatoires élevés. Le fameux observatoire du Mont-Wilson, en Californie, n'a cependant qu'une altitude modeste de 1742 mètres; il en est de même de l'Observatoire du Mont-Hamilton avec 1283 mètres.

Les stations astronomiques les plus élevées d'Amérique sont celles établies sur les hauts-plateaux voisins de l'Equateur; celle de Bogotà est à 2645 mètres; mais ces hauts-plateaux portent toute la vie de ces pays; de telle sorte que ces observatoires se trouvent dans des conditions tout à fait différentes de celles dans lesquelles doivent travailler les observatoires européens de haute altitude, celui du Pic du Midi et celui du Jungfrauoch.

Et voilà qui nous ramène à la station du Jungfrauoch, où les premières recherches scientifiques, à côté des observations météorologiques faites par le regretté A. DE QUERVAIN, furent les essais d'EMILE SCHAEER, astronome à l'Observatoire de Genève; ces essais ont été poursuivis chaque année de 1922 à 1927, facilités par l'obligeance de l'Administration et de la Direction de la Jungfraubahn; EMILE SCHAEER montait là-haut ses propres instruments, tantôt un réfracto-réfecteur de 30 cm. de diamètre, tantôt un miroir de 60 cm.

de largeur, enfin en 1926 un grand miroir de 1 mètre de diamètre. De ces premiers essais sont sorties des études sur Mars et sur Jupiter, publiées dans les Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève.

SCHAER fut donc le premier à poursuivre des recherches au Jungfrauoch. Ce n'était d'ailleurs pas sa première expérience en montagne ; toute sa vie, il a désiré trouver une station élevée propre à faciliter certaines observations astronomiques ; en 1913/14 déjà, avec l'appui de son ami et collaborateur HONEGGER-CUCHET, il équipait l'Observatoire du Mont-Salève, où il installait l'un de ses deux puissants télescopes de 1 mètre de diamètre et à courte distance focale ; l'aventure, comme on sait, ne fut pas heureuse, l'Observatoire ayant été pillé durant la période de la grande guerre. Plus tard, SCHAER tenta un essai aux Rochers-de-Naye. Mais c'est le Jungfrauoch qui devait retenir définitivement son attention.

Ses essais le conduisirent à la conclusion qu'il valait la peine de monter là-haut de puissants instruments, la transparence de l'atmosphère étant remarquable durant les périodes de beau temps ; et, en 1926, il installait son gros réflecteur de 1 mètre. Mais il remarqua aussi, comme j'ai pu le faire moi-même dès 1928, que la situation du Berghaus (le Forschungsinstitut n'existait pas encore à cette époque) n'était pas favorable à l'établissement d'une station astronomique ; le Berghaus, en effet, regarde la Jungfrau, et se trouve exposé aux vents qui balayent le col chaque soir ; de sorte qu'un gros instrument, dont la charpente possède forcément une surface plus ou moins considérable, serait constamment ébranlé par l'air en mouvement auquel il offrirait une résistance. Entendons-nous bien : cet ébranlement ne serait pas visible à l'œil, le visiteur curieux ne verrait pas bouger l'instrument ; mais si celui-ci est puissant, la vibration communiquée à la monture se traduirait par une danse effrénée de l'image à l'oculaire. Il convenait donc de chercher un emplacement plus propice aux observations astronomiques ; SCHAER fit plusieurs essais, et finit par dénicher l'emplacement convenable, sur la face S-E du Sphinx, à 25 mètres au-dessus de la sortie du tunnel horizontal qui débouche sur le glacier de l'Aletsch. On s'y trouve à l'abri des vents du col, et c'est là qu'en 1929 on se décida à construire.

Mais revenons à EMILE SCHAER, qui en 1927 voyait en imagination son rêve de station de haute montagne réalisé, puisque

l'astronomie entraînait jusqu'à cette date dans les préoccupations de la Commission du Jungfrauoch.

Vous pouvez donc, mes chers collègues, comprendre sans peine aucune quels furent l'ahurissement et le découragement de notre ami, qui se donnait sans compter à sa tâche, lorsqu'il apprit que la Commission du Jungfrauoch renonçait à construire un pavillon pour l'astronomie, et que l'Institut de recherches projeté, réalisable grâce à des subventions internationales, laisserait à la porte la discipline la plus ancienne, la plus vénérable et la plus désintéressée, celle qui avait donné lieu aux premières recherches scientifiques effectuées au Jungfrauoch.

Mettez-vous à la place de SCHÄER, et mesurez rétrospectivement le chagrin de celui-ci.

C'était l'époque où je me préparais à prendre la direction de l'Observatoire de Genève.

Et SCHÄER, découragé, fatigué des efforts faits en vain, renonçant à poursuivre lui-même la réalisation de son rêve de station astronomique de haute altitude, en plein accord avec son ami et collaborateur M. HONEGGER-CUCHET, décida de donner son gros télescope de 1 mètre à l'Observatoire dans lequel il avait travaillé toute sa vie, avec le vœu que ce bel instrument serait un jour la pièce maîtresse de l'équipement d'une succursale de l'Observatoire, succursale à construire en montagne, au Jungfrauoch ou ailleurs.

C'est cet épisode, mes chers collègues, que la plupart d'entre vous ignorent. Il forme la clé de tout ce qui suivit. L'Observatoire de Genève recevait, avec l'autorisation de l'Etat, le puissant instrument construit par son collaborateur de toujours, pour en faire la pièce essentielle de sa future succursale.

J'ajoute tout de suite que, quelques mois après, à peine les premières démarches entreprises par le directeur actuel de l'Observatoire pour suivre au vœu de son collaborateur et ami, M. HONEGGER-CUCHET offrait à l'Observatoire un second miroir de SCHÄER, de 60 cm. de diamètre et 3 m. de distance focale, pour compléter l'équipement de la succursale envisagée.

Nous nous trouvions ainsi en possession de deux instruments remarquables, avant même que la première pierre du futur bâtiment eût été posée.

Ce que j'ai dit de cette phase de l'aventure vous explique complètement comment il se fait que ce soit l'Observatoire de

Genève qui se soit chargé de construire la station astronomique du Jungfrauoch.

Il nous restait à choisir le lieu de notre succursale; serait-elle édifiée au Jungfrauoch ou ailleurs? Je ne vous étonnerai pas en vous disant que j'ai très vite choisi le Jungfrauoch; je l'ai fait pour plusieurs raisons, dont je vous dirai plus loin les principales.

Mais tout d'abord, je voudrais vous faire remarquer que c'étaient des astronomes qui étaient en jeu dans cette affaire, et qu'ils ont agi « en astronomes »; c'est-à-dire qu'ils ont voulu que l'Astronomie fût servie et n'eût pas à attendre aux calendes grecques pour être servie, elle qui avait montré le chemin. C'est dans ces dispositions que votre serviteur a été amené à choisir un emplacement pour la future succursale de son observatoire.

Je vous ai dit que je n'ai pas hésité longtemps pour fixer mon choix sur le Jungfrauoch. J'étais d'abord poussé à cette décision par des raisons d'ordre pratique; il était bien évident que nous avions avantage à établir cette station dans un lieu facilement accessible, facile à ravitailler, et où les réparations éventuelles aux instruments pourraient être rapidement effectuées; rares sont en Suisse les stations élevées pouvant sur ce point rivaliser avec celle du Jungfrauoch. Mais la principale des raisons qui ont guidé ma détermination a été le désir de voir ma succursale rester dans le voisinage immédiat de l'Institut international de recherches patronné par la S. H. S. N.; j'ai eu d'emblée la conviction (et les faits récents n'ont pu que la renforcer) que les deux institutions, la vôtre et la mienne, l'internationale et la nationale, seraient parfois en contact et qu'il convenait d'établir entre elles deux les relations les plus cordiales.

Effectivement, durant ces dernières années, alors que l'Institut international de recherches était déjà ouvert aux savants, tandis que la station astronomique n'était qu'en construction, j'ai eu l'occasion d'entretenir là-haut les relations les plus amicales avec des collègues étrangers; et vous aurez tout à l'heure le plaisir d'entendre l'un d'entre eux vous parler de la turbulence atmosphérique, dont ses séjours au Jungfrauoch avaient justement pour but de découvrir quelques particularités. J'ai eu aussi la joie de rencontrer là-haut des collègues astronomes français, venus travailler, pendant leurs vacances, de concert avec des physiciens et des chimistes, au problème de l'ozone atmosphérique; et comme il était

nécessaire de préparer, longtemps avant leur arrivée à l'Institut de recherches, un chariot métallique pour leur petit instrument, c'est à moi qu'ils avaient bien voulu confier le soin d'en surveiller la construction.

Je vois donc dès maintenant, alors que ma succursale n'est pas encore ouverte, combien les relations entre les deux entreprises seront aimables, et combien j'ai eu raison de fixer mon choix sur le Junfraujoeh. Les astronomes genevois auront la satisfaction de faire quelques recherches au lieu même où SCHAEER avait entrepris ses premiers essais; ils auront aussi la joie de travailler en pleine harmonie avec les savants du Forschungsinstitut.

Sans doute, les règlements de travail ne sauraient être les mêmes dans les deux maisons; au Forschungsinstitut, par exemple, chaque chercheur apporte avec soi ses propres appareils; tandis que les deux gros instruments de l'Observatoire astronomique resteront en place; et, à vrai dire, ce détail est capital; mais il est hors de doute que les deux institutions entretiendront les rapports les plus amicaux; c'est pourquoi l'Observatoire du Jungfraujoeh intéresse encore la Société Helvétique des Sciences Naturelles; et j'espère avoir bien fait de vous en entretenir aujourd'hui, et de vous expliquer la genèse de cette entreprise astronomique soutenue par l'effort genevois.

Que vais-je vous dire maintenant de la construction elle-même? Je ne vais certainement pas vous en décrire les différentes phases; ce sont à peu près les mêmes que pour l'Institut de recherches; nous avons rencontré les mêmes difficultés, nous avons bénéficié de la même bonne volonté de la part des organes directeurs de la Jungfraubahn, nous avons eu à supporter les mêmes déboires dans le rocher (je fais ici allusion aux infiltrations d'eau); et je saisis cette occasion pour dire ma gratitude envers la Société Académique de Genève, dont le Comité a bien voulu mettre à contribution le Fonds Emile Plantamour pour faire face à ces difficultés financières. Aujourd'hui, le bâtiment est construit; il n'y a plus qu'à terminer la cheminée de 25 mètres pour l'ascenseur, mettre l'ascenseur en place, et installer les instruments.

Cela m'amène à vous présenter ces derniers, qui vont bientôt faire partie effectivement de l'équipement scientifique suisse, et à vous dire ce que l'on peut en espérer.

Comme nous l'avons vu, il y a un instant, il s'agit de deux puissants miroirs paraboliques, l'un de 1 mètre, l'autre de 60 cm. de diamètre; le second est ouvert à $f/5$, c'est-à-dire que sa distance focale mesure 3 mètres environ, tandis que le premier, ouvert à $f/3$, ne présente qu'une distance focale de 295 cm.; il est donc très court, et présente les mêmes caractéristiques optiques que son frère jumeau installé depuis 1922 à l'Observatoire de Genève.

Nous avons fait construire les montures par la maison Jonneret, de Genève; il s'agit de deux montures métalliques, portant les instruments en fourche.

Le miroir principal, parabolique, est placé au bas du télescope, dans le grand barillet; les deux instruments en question ont le miroir principal percé; le trou a 20 cm. de diamètre pour le miroir de 1 mètre, tandis qu'il ne mesure que 12 cm. pour l'instrument de 60 cm. de diamètre. Un peu en avant du foyer de ce miroir principal est placé un second miroir, beaucoup plus petit, convexe et hyperbolisé, dont le rôle est de renvoyer les rayons lumineux vers le bas de l'instrument, dans la direction du trou percé dans le miroir parabolique; les distances sont réglées de telle façon que l'image de l'objet stellaire se forme un peu au-dessous du barillet principal; il suffit donc de la recevoir, soit dans un oculaire, soit sur une plaque photographique. Cette combinaison de miroirs porte le nom de combinaison « Cassegrain »; les traités de physique sont souvent sévères à son endroit, prétendant qu'elle ne donne pas de bonnes images. Comme j'ai eu déjà l'occasion de le remarquer ailleurs,¹ la vérité est que très peu d'opticiens sont capables de réussir le petit miroir convexe de la monture Cassegrain; la taille en est difficile; les opérations de doucissage, puis de polissage et enfin de retouches sont longues et délicates; et l'opticien insuffisamment préparé et entraîné s'arrête à une solution grossière, incapable de donner des images nettes, et bonne tout au plus pour certains travaux de spectrographie.

C'est cette combinaison difficile à réaliser que SCHAEER choisissait de préférence; et il nous a appris à la réaliser; sur les trois petits miroirs convexes qui seront installés au Jungfrauoch, deux ont été taillés et terminés à l'Observatoire après la mort de SCHAEER, par mon collaborateur M. le Dr PAUL ROSSIER, tandis que l'autre

¹ Publ. de l'Obs. de Genève, fasc. 18.

a été préparé sous la direction de SCHAEER durant les derniers mois de son existence. Et je me hâte d'ajouter que ces combinaisons Cassegrain paraissent excellentes.

Je viens de dire que nous avons préparé trois petits miroirs convexes; cela m'amène à préciser que l'instrument de 1 mètre de diamètre est plus riche de possibilités que le télescope de 60 cm. de largeur. Ce dernier est une combinaison Cassegrain simple, possédant un seul petit miroir hyperbolisé, et ne permettant par conséquent que le travail au « foyer combiné », c'est-à-dire le travail sur l'image formée au-dessous du trou du grand miroir. Le gros instrument permet aussi ce travail au foyer combiné; mais il permet autre chose encore; il est en effet pourvu de deux combinaisons Cassegrain; l'une est le simple miroir convexe, comme dans le télescope de 60 cm. de diamètre; l'autre est constituée par une « lame » de verre optique de PARRA-MANTOIS, à deux faces taillées à très peu près parallèles, et dont il me faut vous dire quelques mots.

Cette lame est placée un peu en arrière du petit miroir convexe argenté, qui est enlevé lorsqu'on se sert de la lame; la face antérieure de celle-ci, c'est-à-dire la face qui est tournée vers le grand miroir, est hyperbolisée et joue le rôle d'un miroir convexe de Cassegrain; mais elle n'est pas argentée, de sorte que la lumière réfléchie par le miroir principal traverse la lame de verre optique, dont l'épaisseur est de 1 cm. environ, en ne perdant que très peu de son intensité; mais, cependant, la première face de la lame renvoie suffisamment de lumière réfléchie pour assurer un bon guidage de l'instrument au moyen de l'image formée au foyer de la combinaison Cassegrain; ce faisant, on peut photographier l'image formée au premier foyer ou foyer du miroir principal, tandis que l'image très faible donnée au second foyer sert au guidage.

Cette construction de SCHAEER donne d'excellents résultats avec le télescope de 100 cm. N° 1, installé à l'Observatoire depuis 1922; la première face de la lame y donne une distance focale combinée de 40 mètres pour le guidage; il est à peine besoin d'ajouter qu'on peut aussi argenter cette face et l'utiliser pour la photographie au foyer de la combinaison Cassegrain de 40 mètres. Le gros télescope du Jungfraujoeh permettra les mêmes travaux.

Nous pourrions d'ailleurs, en tout temps, tailler nous-mêmes de nouveaux petits miroirs convexes de Cassegrain, donnant telle ou telle distance focale combinée qu'on voudra.

Le petit miroir préparé pour le télescope de 60 cm. de diamètre donne une distance focale combinée de 14 mètres, c'est-à-dire que pour obtenir une image comparable au moyen d'un réfracteur de 60 cm. de diamètre, il faudrait utiliser un objectif de 14 m. de distance focale. Le petit Cassegrain argenté du gros télescope donne une distance focale combinée de 15 mètres.

Les astronomes avertis et les opticiens ont immédiatement vu, j'imagine, que le travail le plus intéressant, avec le gros instrument, se fait au premier foyer ou foyer du miroir principal; en effet, la distance focale de celui-ci est, nous l'avons dit, très courte en comparaison du diamètre de 1 mètre; elle n'est que de 295 cm., aussi bien pour le télescope monté à Genève que pour celui (N° 2) destiné à la succursale du Jungfraujoch; cela signifie que l'image est très lumineuse. Sans doute cet avantage est-il accompagné de quelques petits inconvénients; la conduite de l'instrument est plus délicate, le centrage des miroirs plus difficile à conserver. Mais l'essentiel est que la grande luminosité de l'image permet d'obtenir des photographies excellentes avec des poses très courtes. J'ai reproduit quelques-unes de ces photographies dans un article publié en 1932 dans les « Archives des Sciences physiques et naturelles ».

Et maintenant que vous connaissez les qualités optiques de ces puissants instruments, dont chacun est d'ailleurs pourvu d'une lunette photographique témoin, je voudrais évoquer à vos yeux ce qu'on peut espérer de leur mise en service; je voudrais vous dire le programme que nous tenterons de réaliser, sans préjudice des essais qui pourraient être faits là-haut par d'autres que nous.

Il y a deux remarques fondamentales à relever pour comprendre le bénéfice que nous espérons de la mise en jeu de notre équipement alpin. La première est que la station du Jungfraujoch est située à l'altitude de 3500 mètres environ, tandis que la hauteur de l'Observatoire de Genève au-dessus du niveau de la mer est de 406 mètres; cela fait donc en nombre rond 3100 mètres de différence de niveau entre les deux stations; pour passer de l'une à l'autre de celles-ci, on traverse les couches inférieures de l'atmosphère terrestre, celles qui sont les plus denses, les plus chargées en poussières et en vapeur d'eau, celles qui par conséquent sont

les plus préjudiciables à tous les travaux de photographie et de spectrographie stellaires. Nous pourrions donc faire des essais (les mêmes essais) en bas et en haut, à Genève et au Jungfrauoch, et la comparaison des résultats obtenus conduira peut-être à des conclusions précieuses.

Mais cette comparaison serait bien difficile et peu significative si les opérateurs étaient obligés d'utiliser des instruments astronomiques différents aux deux stations. Et cela m'amène à vous signaler la seconde des remarques à faire; c'est que nous disposons de deux puissants instruments de mêmes dimensions, de mêmes qualités optiques, c'est-à-dire que les miroirs principaux de ces deux télescopes ont même diamètre (1 mètre) et même distance focale (295 cm.); or, l'un de ces instruments est à l'Observatoire de Genève depuis 1922, tandis que l'autre sera installé définitivement au Jungfrauoch. Ce sont là des conditions uniques, qui faciliteront grandement la comparaison des séries de résultats obtenus respectivement en bas et en haut.

Il sera par exemple possible de déterminer avec quelque sécurité ce que l'on gagne en magnitude stellaire lorsqu'on opère à 3500 mètres d'altitude, par rapport à ce que l'on obtient ici. Et cette comparaison des résultats acquis devra se faire en tenant compte de toutes les données atmosphériques du moment; il sera peut-être même utile de connaître des observations météorologiques faites à des altitudes intermédiaires, entre 400 mètres et 3500 mètres; qui d'entre vous ne voit dans cette dernière observation la probabilité très grande d'une collaboration future entre les différents groupes de chercheurs opérant au Jungfrauoch?

Il est maintenant un point qu'il m'apparaît important de vous signaler, et qui concerne l'emplacement même que nous avons choisi pour y construire notre forteresse astronomique. L'Observatoire, avons-nous dit, se trouve dans la partie S-E du Sphinx, à 25 mètres au-dessus de la sortie du tunnel débouchant sur le glacier d'Aletsch; il est donc dominé par la tête du Sphinx.

Du point de vue de l'astronome, cette situation représente la perte du Ciel Nord; et d'aucuns pourraient être tentés de le regretter. C'était pourtant la meilleure solution, puisqu'il fallait absolument être à l'abri des vents et notamment à l'abri de ceux balayant le col chaque soir. Nous avons donc sacrifié le Ciel Nord

pour pouvoir étudier tranquillement le Ciel Sud. Et comme les deux instruments sont sur rails, il est possible de les pousser sur la terrasse, ce qui permet d'atteindre le zénith, et même de le dépasser quelque peu en direction du Nord.

Vous aurez sans doute remarqué que j'ai parlé d'instruments mobiles sur rails; peut-être vous attendiez-vous à entendre parler de coupoles? Les explications que j'ai données tout à l'heure, la manière dont le bâtiment est blotti tout contre le rocher, montrent suffisamment qu'il ne pouvait être question de coupoles, dont les galets auraient d'ailleurs été bloqués très vite par la glace et qui seraient pratiquement inutilisables à cette altitude. L'ensemble des conditions météorologiques nous a commandé de choisir un pavillon fixe abritant des instruments mobiles.

Ainsi donc, mes chers collègues, nous envisageons, dans les conditions que je viens de vous exposer, un programme de travail basé essentiellement sur la photographie; et je pense que nos premières recherches, après la période de tâtonnement et de mise au point, concerneront la photométrie photographique des nébuleuses, des amas et des étoiles variables. Ce programme peut être attaqué avec les organes dont nous disposons dès aujourd'hui.

Mais je dois vous dire que je vise plus loin encore; avec mon collaborateur M. le Dr PAUL ROSSIER, j'ai envisagé de construire, par nos propres forces, un spectrographe ne présentant, à part le prisme indispensable et que nous possédons déjà,¹ que des miroirs. C'est une solution qui est théoriquement connue, mais qui n'a été réalisée qu'une fois, sauf erreur. La grosse question sera de tailler les miroirs et de combiner une monture pratique, qui puisse s'adapter soit au gros télescope de Genève, soit à celui du Jungfrauoch. Mais ce sont là des projets d'avenir.

Contentons-nous, pour l'instant, de ce qui est fait; cela représente déjà une tâche énorme et un résultat considérable.

Je disais, il y a un instant, que j'espérais voir se créer les relations les plus amicales entre cette succursale genevoise et l'Institut international de recherches. Mais je voudrais ajouter ici qu'il est une collaboration que je verrais s'établir avec une particulière ferveur; c'est celle qui résulterait du séjour, dans notre station du Jungfrauoch, de mes chers collègues de Suisse.

¹ Prisme de SCHAEER.

C'est là encore, direz-vous, un rêve d'avenir; mais ce rêve est réalisable; et s'il prend corps, un jour que j'espère prochain, l'astronomie suisse connaîtra, j'en suis certain, de beaux succès.

C'est d'ailleurs le rêve que fait chacun d'entre vous pour le domaine qui lui est spécialement cher; cette collaboration, c'est le but que poursuivent patiemment toutes nos sociétés scientifiques; c'est celui aussi de notre Société Helvétique, destinée à réunir en une seule famille tous ceux qui observent et écoutent la nature pour en saisir les secrets.

C'est dans cet esprit, Messieurs et chers collègues, que je déclare ouverte la 118^e Assemblée générale de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

La turbulence atmosphérique

Par

J. KAMPÉ DE FÉRIET

Professeur à la Faculté des Sciences

Directeur de l'Institut de Mécanique des Fluides de l'Université de Lille

Dans cet exposé je me propose d'esquisser à grands traits l'état actuel en France des recherches théoriques et expérimentales sur la turbulence atmosphérique.

L'étude de la nature et des effets de la turbulence dans l'atmosphère, constitue à coup sûr un des chapitres les plus importants du problème général de la turbulence, dont on peut dire, à mon sens, que dépend tout l'avenir de la Mécanique des Fluides.

Voici deux siècles déjà que votre illustre compatriote DANIEL BERNOULLI énonçait dans son « Hydrodynamica » (1738) les équations du mouvement d'un fluide parfait; mais contrairement à ce qui se passait, au XVIII^e siècle, pour d'autres sciences (la Mécanique céleste et la Mécanique du corps solide, par exemple), les principes théoriques n'apportèrent que très peu de clarté dans l'interprétation des faits d'expérience; des hydrauliciens comme du BUI, l'abbé BOSSUT, BELIDOR ne purent presque rien déduire de ce premier schéma; « quoique les lois du mouvement des eaux », écrit BELIDOR (1750), « aient fait l'objet des recherches de plusieurs habiles mathématiciens, le fruit qu'ils en ont tiré se réduit seulement à quelques règles sur la hauteur et la dépense des jets, qui ne peuvent être d'un grand avantage dans la pratique. » Les expériences de COULOMB (1784), ayant montré l'importance des forces de frottement dans les fluides, conduisirent tout naturellement au second stade de la théorie, celui des fluides visqueux, dont les équations furent posées dès 1822 par NAVIER puis en 1845 par STOKES. — Mais, sauf pour les célèbres expériences du D^r POISEUILLE (1842) sur l'écoulement d'un liquide dans des tubes capillaires, où les conséquences

des équations de NAVIER-STOKES se vérifièrent avec une grande précision, presque tous les faits expérimentaux refusaient d'entrer dans le cadre fixé par la théorie; le mot de BARRÉ de SAINT VENANT (1872): « l'Hydraulique est une désespérante énigme », restait encore vrai il y a quelque vingt ans.

C'est par la porte ouverte par ce désaccord que le concept de turbulence s'est peu à peu introduit dans l'édifice de la Mécanique des Fluides. Une lumière très vive fut projetée par OSBORNE REYNOLDS (1883) lorsqu'il montra que de l'eau dans un tuyau peut s'écouler selon deux régimes bien distincts: le premier — où un filet de couleur reste net et parallèle à l'axe du tuyau — qui vérifie les équations de NAVIER-STOKES; le second — où un filet de couleur se tord en tout sens et colore tumultueusement toute la masse — qui est en désaccord complet avec ces équations; nous appelons aujourd'hui ces deux régimes *laminaire* et *turbulent*. L'opposition entre eux est donc basée essentiellement sur le caractère de simplicité, de régularité, de permanence d'une part, de complexité, de décoordination, de variation rapide dans le temps et dans l'espace, d'autre part.

* * *

Après avoir rappelé la position centrale du problème de la turbulence, au cœur même de la Mécanique des Fluides, il ne me paraît pas inutile, devant des savants adonnés à des disciplines aussi diverses que celles figurant au programme de cette Assemblée, de m'arrêter un instant sur l'intérêt que présente l'étude spéciale de la turbulence atmosphérique, pour des chapitres nombreux et variés de la Science.

On pense, tout d'abord, avec juste raison, à la *Météorologie* et à l'*Aérodynamique*; mais ces Sciences sont loin d'être les seules intéressées: l'*Astronomie*, la *Botanique*, la *Médecine*, l'*Urbanisme* même pourront tirer profit, pour des points de détail ou pour des chapitres entiers, selon les cas, des résultats de l'étude de la turbulence atmosphérique.

Pour souligner le rôle primordial de la turbulence atmosphérique dans la Météorologie, il suffit d'indiquer quelques-uns des problèmes où elle intervient directement:

Le bilan thermique de l'atmosphère, car la turbulence diffuse jusqu'à plusieurs milliers de mètres de leur source les particules

d'air réchauffées ou refroidies, par le rayonnement ou surtout par le contact avec le sol;

La différenciation des grandes masses d'air d'origine arctique, polaire, tropicale, équatoriale; l'histoire de ces masses s'inscrit en elles par des évolutions typiques de leur turbulence interne;

La diffusion de la vapeur d'eau d'origine marine ou terrestre; l'agitation turbulente constitue, en outre, un processus puissant de *condensation*; elle est en particulier la cause de la formation de certains *brouillards* et de certains *nuages* typiques.

Bien entendu, chacun connaît l'étroite dépendance de l'avion et du milieu aérien qui le porte. Tous ceux qui ont l'habitude de voyager sur les lignes commerciales savent combien la sensation de confort varie avec l'état de l'atmosphère; les accélérations subies par un avion de ligne moderne du fait de la turbulence atmosphérique sont en moyenne de l'ordre de 0,5 g.; elles atteignent couramment 1 g. et parfois 2 ou 3 g. dans des circonstances spéciales; dans ce dernier cas, les passagers, qui décollent du siège, apprécient peu le voyage, en général. Mais les recherches modernes ont montré que l'influence de la turbulence s'étendait encore beaucoup plus loin, en modifiant les qualités aérodynamiques de l'appareil elles-mêmes. On s'en est aperçu en constatant que les polaires d'une même maquette, déterminées successivement dans deux souffleries, peuvent présenter de très importantes différences; d'une soufflerie à l'autre la valeur de la portance maxima de certains profils d'aile peut en particulier varier de 50 %.¹ Comme la vitesse d'atterrissage d'un avion et sa stabilité latérale dépendent précisément de la valeur du maximum de portance, on comprend l'intérêt primordial qui s'attache à une mesure précise de la turbulence atmosphérique au cours des essais en vol d'un prototype, pour pouvoir chiffrer comment les performances réalisées sont affectées par les conditions du jour de l'épreuve.

¹ Par exemple dans la soufflerie de PASADENA (Californie) en faisant varier la turbulence par des grillages, C. B. MILLIKAN a trouvé que le C_z maximum de l'aile N. A. C. A. 2412 pouvait varier de 1,2 à 1,6. — C. B. MILLIKAN et A. L. KLEIN, The effect of Turbulence: An Investigation of Maximum Lift Coefficient and Turbulence in Wind Tunnels and in Flight (Aircraft Engineering 1933). — Depuis cette époque ce sujet a été l'objet de nombreux travaux, qui tous ont confirmé la grande sensibilité du C_z maximum d'une aile à la turbulence du courant d'air.

Le fait lui-même de la discordance des mesures des diverses souffleries est bien digne d'attention; les deux courants d'air dont la vitesse moyenne mesurée par un tube de Pitot est la même, 40 m./sec. par exemple, diffèrent donc par « quelque chose », qui nous est caché: ce quelque chose, assez puissant pour modifier aussi profondément les effets de l'écoulement sur une aile, est précisément ce que nous appelons leur turbulence. Si au tube de Pitot nous substituons un instrument de mesure plus fin, un fil chaud, les enregistrements auront une allure très différente pour les deux souffleries; au mouvement d'ensemble, seul visible sur les moyennes faites par le tube de Pitot, se superposent d'une manière typique pour chaque soufflerie, des changements de direction et de grandeur de la vitesse, dont la complexité va en croissant avec la finesse de l'appareil de mesure. H. L. DRYDEN,¹ le grand spécialiste américain du fil chaud en soufflerie, a trouvé qu'une part importante d'énergie (16 %) revient encore aux perturbations dont la fréquence s'étale entre 500 et 1500 par seconde.

En dehors des applications classiques et évidentes à la Météorologie et l'Aérodynamique, comme premier exemple d'une science qui, sur un point précis, est en contact avec la turbulence atmosphérique, je citerai l'Astronomie: je n'ai pas besoin de rappeler que la scintillation des étoiles, la qualité des images dans un instrument dépendent de l'atmosphère. Or ce sont précisément, tout le long du rayon lumineux, les variations rapides de pression de densité et de température, de particules d'air différenciées les unes par rapport aux autres qui entraînent les phénomènes optiques si redoutés des astronomes: le choix de l'emplacement d'un Observatoire peut donc d'ores et déjà bénéficier dans une large mesure des règles connues liant la turbulence à l'orographie et au climat général.

Je terminerai en indiquant encore quelques contributions possibles aux Sciences biologiques.

Tout d'abord les échanges thermiques entre un corps et un fluide dépendent, tout comme les forces aérodynamiques, non

¹ H. L. DRYDEN, « Measurements of intensity and scale of wind-tunnel turbulence and their relation to the critical Reynolds number of spheres. » N. A. C. A. N° 581 — 1937.

seulement de la vitesse moyenne du fluide, mais encore de sa turbulence.¹

Cette remarque permettra peut-être aux naturalistes de glaner des faits intéressants sur l'influence du vent en Physiologie végétale ou animale; peut-être aussi à la Climatologie médicale d'expliquer certaines actions favorables ou nuisibles du vent sur l'organisme humain d'après son degré de turbulence.

La turbulence joue enfin un rôle fondamental dans la diffusion des matières en suspension: poussières et microbes, ions et cristaux de sel, grains de sables, grains de pollen. Le regretté WILHELM SCHMIDT² a consacré une magistrale étude à ce point de vue, qui ouvrira certainement des aperçus nouveaux à ceux d'entre vous qui se préoccupent d'Hygiène urbaine, d'Océanographie (diffusion du plancton) ou de Géographie botanique (voir en particulier les mesures si curieuses de diffusion du pollen sur les bateaux-phares de la Baltique).

* * *

En France l'étude théorique et expérimentale de la turbulence atmosphérique est actuellement confiée par le Ministère de l'Air (avril 1935) à un groupe de chercheurs, formant une Commission présidée par M. WEHRLÉ, directeur de l'Office National Météorologique, et comprenant MM. BALDIT, sous-chef de Section technique à l'Office National Météorologique; BÉNARD, professeur à la Sorbonne; DEDEBANT, chef du Service scientifique de l'Office National Météorologique; DUPONT, chef de la Section aérodynamique du Service technique d'Aéronautique; IDRAC, professeur à l'Institut

¹ A titre d'indication pour l'ordre de grandeur, H.-L. DRYDEN donne pour le problème le mieux étudié, l'écoulement d'un liquide dans un tuyau cylindrique, des valeurs du coefficient de transmission de la chaleur α , pour les deux régimes laminaire et turbulent qui conduisent à:

$$\frac{\alpha \text{ (turbulent)}}{\alpha \text{ (laminaire)}} = 0,0075 R^{3/4}$$

R désignant le nombre de Reynolds de l'écoulement: H.-L. DRYDEN. — Aerodynamics of Cooling, dans Aerodynamic Theory de W.-F. DURAND. T. VI, p. 272 (Berlin 1936). Par conséquent pour $R = 10\,000$, valeur pour laquelle l'écoulement est normalement turbulent, mais qui avec des précautions exceptionnelles a pu encore donner parfois un écoulement laminaire, le rapport des deux coefficients de transmission atteindrait 7,5.

² W. SCHMIDT, Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Hamburg 1925.

Océanographique; KAMPÉ DE FÉRIET, directeur de l'Institut de Mécanique des Fluides; MÉTRAL, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers; la mort devait malheureusement interrompre bientôt (mai 1935) la collaboration si fructueuse de P. IDRAC, qui fut un précurseur dans le défrichement de ce domaine.

M. WEHRLÉ et son collaborateur M. DEDEBANT se sont donné pour but, depuis plusieurs années, de construire une synthèse théorique de la turbulence atmosphérique destinée à s'épanouir en une Mécanique de l'Atmosphère riche en perspectives nouvelles et hardies.¹

Cette œuvre, qui sur plusieurs points est encore en voie de création, est essentiellement fondée sur les concepts d'*échelle* et de *probabilité*.

Chacun comprend que les unités commodés ne doivent pas être les mêmes quand on décrit les tourbillons se détachant derrière une maquette en soufflerie ou le vaste mouvement giratoire couvrant toute l'Europe, que l'école norvégienne de Météorologie appelle un cyclone; mais pour MM. WEHRLÉ et DEDEBANT la notion d'échelle comporte une signification beaucoup plus profonde, liée à la définition de ce qu'ils appellent un *étage* de perturbation.

¹ G. DEDEBANT, PH. SCHERESCHEWSKY et PH. WEHRLÉ: Sur la similitude statistique dans les mouvements turbulents des fluides (Comptes-rendus Acad. Sc., t. 198, 1934, p. 1571; Sur une classe de mouvements naturels des fluides visqueux, caractérisée par un minimum de la puissance dissipée; cas du soleil (Comptes-rendus Acad. Sc., t. 199, 1934, p. 1287).

G. DEDEBANT, PH. WEHRLÉ, PH. SCHERESCHEWSKY: Le maximum de probabilité dans les mouvements permanents. Application à la turbulence (Comptes-rendus Acad. Sc., t. 200, 1935, p. 203).

G. DEDEBANT, PH. SCHERESCHEWSKY et PH. WEHRLÉ: Théorie de la circulation générale de l'atmosphère. Le champ moyen de température (Comptes-rendus Acad. Sc., t. 201, 1935, p. 346); Théorie de la circulation générale de l'atmosphère. La loi de rotation et le champ de pression (Comptes-rendus Acad. Sc., t. 201, 1935, p. 453).

G. DEDEBANT et PH. WEHRLÉ: La circulation générale de l'atmosphère sur un globe uniforme déduite d'un principe de moindre dissipation (Communication au Congrès de l'U. G. G. I., Lisbonne 1933); Le rôle de l'échelle en météorologie (Compte-rendu du 68^e Congrès pour l'avancement des Sciences, Paris 1935).

Voir un large exposé didactique, avec l'accent sur le côté philosophique de leur construction, dans G. DEDEBANT et PH. WEHRLÉ: «La Mécanique de l'Atmosphère et des grands milieux fluides fondée sur les concepts d'échelle et de probabilité» Thalès 1935.

Plaçons-nous pour étudier un fluide au point de vue d'Euler, c'est-à-dire mesurons les divers éléments (vitesse, température, etc.) en des points fixes P de l'espace; supposons le mouvement moyen stationnaire, c'est-à-dire que les indications d'instruments grossiers (comme le tube de Pitot dans une soufflerie) sont constantes.

Prenons comme support pour notre pensée le point de vue de la théorie cinétique; si nous disposions d'un anémomètre idéal, à la taille du démon de Maxwell, nous enregistrerions la vitesse individuelle de chacune des molécules passant au point P ; puisque le mouvement est stationnaire, la moyenne de ces vitesses pour un intervalle de temps très long est constante et les vitesses individuelles se distribuent selon une courbe de fréquence bien déterminée autour de cette moyenne.

Tout anémomètre concret fait (plus ou moins bien selon sa sensibilité) une moyenne sur les vitesses des molécules passant pendant un intervalle de temps $\triangle t$ dans un volume $\triangle \omega$ entourant le point P . Partant donc par la pensée des vitesses moléculaires, examinons-les par le procédé du *crible*; subdivisons pour cela un intervalle de temps très long en fractions de durées $T/2$ que nous numérotions 1, 2, n ; groupons d'un côté les intervalles fractionnaires de numéros impairs et d'un autre ceux de numéros pairs. En général les deux moyennes calculées sur les vitesses moléculaires de tous les intervalles pairs, d'une part, et de tous les intervalles impairs, d'autre part, seront égales et égales aussi à la moyenne générale constante calculée sur un intervalle très long quelconque; en outre les deux courbes de fréquence donnant la dispersion des vitesses moléculaires dans les groupes des intervalles pairs et impairs seront identiques. Lorsque ces deux moyennes sont distinctes, le procédé de crible nous révèle l'existence d'une organisation macroscopique constituant un *étage* de perturbations dont la période est T . MM. WEHRLÉ et DEDEBANT disent qu'il existe alors une turbulence d'échelle T .

De ces vues théoriques il découle évidemment cette conséquence pratique que l'anémomètre le mieux adapté pour révéler cette turbulence est celui qui mesure exactement les moyennes sur un intervalle égal à $T/2$.

Dans son état actuel la théorie se propose d'étudier le cas, où il n'existe entre le chaos moléculaire de la théorie cinétique et le mouvement moyen seul accessible aux équations classiques de

la Mécanique des Fluides, qu'un seul étage de perturbation; elle pourrait se généraliser sans peine au cas d'un nombre fini d'étages. Mais la question s'ouvre immédiatement de rechercher quel est dans les cas concrets le *spectre* de la turbulence: groupes de lignes discrètes de valeurs T_1, T_2, \dots, T_K , séparées par des zones de silence ou bande continue remplissant tout un intervalle ($T' T''$); ce problème fondamental n'a pas encore reçu de réponse, bien que les recherches de DRYDEN, citées plus haut, me fassent penser que ce soit la deuxième hypothèse la plus probable.

La notion d'échelle, explicitée en un point fixe P , s'étend à l'espace, par la considération du groupe spatial de molécules constituant une *particule*, passant en des points P', P'' , voisins de P et dont les moyennes, calculées sur la demi-période $T/2$ présentent les mêmes fluctuations qu'en P .

Cette notion essentielle étant acquise, MM. DEDEBANT et WEHRLÉ se proposent de construire la Mécanique statistique des particules. La valeur moyenne en P pour un intervalle très long d'une propriété mesurable du fluide (vitesse, pression, température, etc.) étant désignée par \bar{f} , la valeur moyenne de cette même propriété pour une certaine demi-période $T/2$ étant f , on la décompose sous la forme:

$$f = \bar{f} + f',$$

f' désigne la composante turbulente de cette propriété pour la particule qui a défilé dans un petit volume entourant P pendant l'intervalle de temps considéré.

Le point de vue statistique pur exige qu'on renonce à toute connaissance individuelle des valeurs f' ; on doit les considérer comme des *variables aléatoires*; il faut *pulvériser la chronologie*, ne pas s'attacher à la succession dans le temps des valeurs f' , mais uniquement à leur distribution statistique définie par des courbes de fréquence.

La description d'un mouvement turbulent comprend donc deux parts: le mouvement moyen, correspondant à des champs de fonctions \bar{f} continues et dérivables en $(x y z)$, indépendantes, d'ailleurs, de t , puisque le mouvement est stationnaire; le mouvement d'agitation turbulente correspondant aux f' , fonctions qui ne sont continues et dérivables ni en $(x y z)$, ni en t et qui ne doivent intervenir dans les équations que par des paramètres statistiques judicieusement choisis et déduits de leurs courbes de fréquence. Cette introduction d'un champ de variables aléatoires dans la Méca-

nique des Fluides me paraît un des apports essentiels de MM. WEHRLÉ et DEDEBANT.

La route est maintenant tracée pour écrire les équations du mouvement moyen, où ne figurent que des fonctions \bar{f} et des paramètres statistiques des variables aléatoires f' ; je ne puis ici entrer dans les détails. Je me contenterai d'indiquer le rôle joué dans cette Mécanique de la Turbulence par un *principe de moindre dissipation*: dans un mouvement stationnaire, l'arrangement des vitesses des particules à l'échelle considérée doit être tel que l'énergie dissipée par les forces de frottement soit minima; au point de vue statistique cette distribution des vitesses doit d'ailleurs correspondre à *l'état le plus probable du système*. Ce principe à priori a déjà reçu la sanction de plusieurs vérifications. A l'échelle du globe terrestre il conduit à un schéma de la circulation générale dont l'accord qualificatif et quantitatif avec l'expérience est meilleur que ne pouvaient le laisser espérer les hypothèses simplificatrices (globe terrestre parfaitement lisse, etc.).

* * *

Pour montrer une autre face de notre activité il me reste à donner un aperçu de quelques-unes de nos recherches expérimentales.

Jusqu'à présent on s'est presque toujours contenté de tarer les anémomètres selon une méthode qu'on pourrait appeler statique, en les plaçant dans un courant d'air à vitesse uniforme; mais on possède très peu de résultats sur la manière dont ils réagissent dans un courant d'air à vitesse variable; cette étude paraît cependant la préface indispensable de toute recherche sérieuse sur la turbulence; quel crédit accorder à une courbe anémométrique, lorsqu'on ne connaît pas dans quelles limites elle déforme la réalité?

Les recherches les plus importantes ont été effectuées par WILHELM SCHMIDT, mais il a dû malheureusement se borner à des variations de vitesse, beaucoup trop lentes, pour notre objet, de l'ordre d'une dizaine de secondes, obtenues en imprimant des pulsations d'ensemble à la vitesse d'une soufflerie.

Une des premières décisions de la Commission de la turbulence atmosphérique a été la création, à la grande Soufflerie de l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille, d'un équipement complet pour l'étude du comportement d'un anémomètre dans un courant d'air à

vitesse rapidement variable. Ce matériel se compose de deux appareils.

Le 1^{er} appareil a pour but de résoudre le problème suivant : sachant que le courant d'air passe par une série de maxima et de minima, dont la période est connue, comment réagit l'anémomètre.

Il est évident que pour chaque type d'anémomètre existe une période minima au-dessous de laquelle il ne réagit plus ; pour certaines périodes il peut d'autre part se produire en vertu des phénomènes de lancer, une résonance critique. Le dispositif très simple, dont l'idée est due à M. ANDRÉ MARTINOT-LAGARDE, consiste en une hélice coupe-vent, qui tourne dans la veine de la Soufflerie en avant de l'anémomètre dans un plan normal à l'axe de la Soufflerie ; elle fait périodiquement varier la vitesse du courant d'air frappant l'anémomètre, qui se trouve tantôt dans le courant général de la Soufflerie, tantôt dans le sillage de la pale ; en réglant la vitesse de rotation de l'hélice on peut réaliser toute période inférieure à 30 sec., la durée de passage d'une pale étant dans ce cas limite de 4,2 sec.

Le 2^e appareil permet d'étudier l'effet d'une rafale brusque sur l'anémomètre ; on le place sur un chariot se déplaçant perpendiculairement à la veine de la Soufflerie ; il part d'une vitesse nulle et passe à la vitesse constante du jet de la Soufflerie en traversant une couche limite entourant cette veine, dont l'épaisseur ne dépasse pas 0,25 mètre ; en réglant la vitesse du chariot (variable de 0,10 à 1,50 m./sec.) et la vitesse du courant d'air dans la veine (de 0 à 65 m./sec. on peut réaliser à volonté une rafale d'amplitude et d'accélération données.

Les différents types d'anémomètres en service dans les stations météorologiques ont été successivement soumis à cet ensemble de tests ; en outre on s'est servi de l'installation pour mettre au point un nouvel appareil.

Cet appareil (fig. 1) que nous appelons un anémoclinomètre, a été étudié et réalisé à l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille ; il détermine le vecteur vitesse du vent en grandeur et en direction, au moyen de la mesure de trois différences de pression :

- a) la différence, entre la pression totale P_T prise au col d'un Venturi dont l'axe perce horizontalement la sphère et une pression de référence P_S définie par un ensemble de trous

répartis uniformément sur toute la surface de la sphère, donne la valeur de la vitesse V par la formule;

$$P_T - P_S = 1,4 q \quad (a)$$

$$q = \text{pression dynamique} = \rho \frac{V^2}{2}$$

b) la différence entre les pressions P_D et P_G de deux trous placés symétriquement par rapport à l'axe du Venturi dans un plan horizontal donne l'azimut A :

$$P_D - P_G = 0,05 q A$$

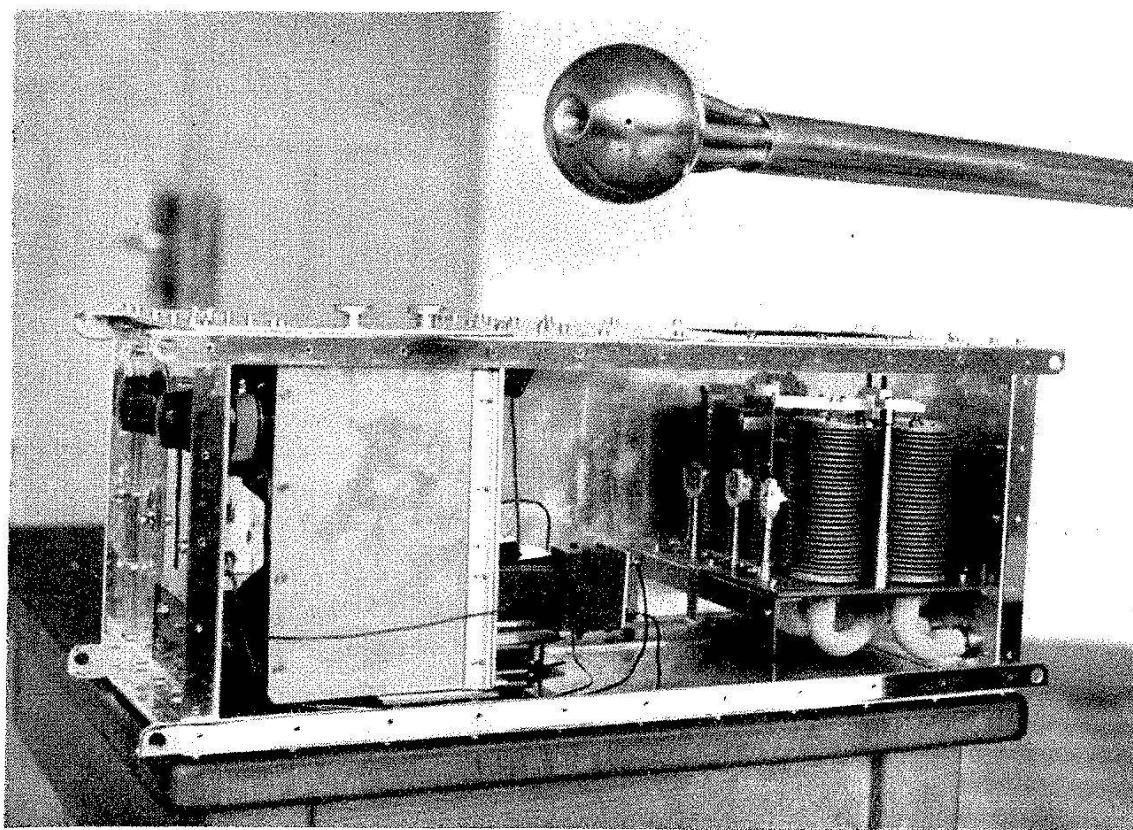


Fig. 1

c) la différence entre les pressions P_H et P_B de deux trous placés de la même façon que les précédents, mais dans un plan vertical donne le site S :

$$P_H - P_B = 0,05 q S$$

L'avantage essentiel de l'anémoclinomètre, par rapport aux autres appareils similaires, réside dans l'idée, due à mon collaborateur M. ANDRÉ MARTINOT-LAGARDE, de placer la prise de pression totale P_T au col d'un Venturi: la mesure de la grandeur de la vitesse est ainsi rendue indépendante dans de larges limites de ses variations de direction; en effet le coefficient de q dans la formule (a)

ne varie pas de plus de 3 % tant que le vecteur vitesse ne fait pas avec l'axe du Venturi un angle supérieur à 45°. Les sphères simplement percées de trous, qui avaient été utilisées antérieurement par quelques chercheurs, étaient pratiquement inutilisables, car le dépouillement nécessitait des approximations successives, la mesure de la grandeur et de la direction de la vitesse réagissant mutuellement l'une sur l'autre.

Cette propriété caractéristique, laissant la latitude au vecteur vitesse de se déplacer à l'intérieur d'un angle de 90° dans les deux plans horizontal et vertical, permet dans les études aérologiques, après avoir orienté l'anémoclinomètre dans la direction moyenne du vent, de la laisser fixe sans avoir besoin de le monter sur une girouette, comme c'est le cas pour l'anémomètre classique à dépression de DINES.

Le type actuel a fait l'objet d'une mise au point approfondie de la part de mon collaborateur M. ROLLIN, qui a étudié ses caractéristiques (durée de réponse, sensibilité, etc.) au moyen de l'installation décrite plus haut; il a aussi déterminé les diamètres optima pour l'ouverture du Venturi, les paires de trous horizontale et verticale, les tuyaux qui conduisent aux manomètres. Il a mis au point un manomètre triple à enregistrement optique qui donne sur une seule bande de papier sensible à grande vitesse de déroulement, les trois courbes V, A, S; le seuil de l'anémoclinomètre est de 0,1 sec.

Parmi les très nombreuses recherches effectuées au Centre National de Vol Sans Moteur de la Banne d'Ordanche (près de la Bourboule, en Auvergne) je dois faire une place toute spéciale aux mesures en vol, effectuées sur l'initiative et sous la direction de M. l'Ingénieur en chef DUPONT; les résultats obtenus au cours des premiers essais, en 1936,¹ qui ont comporté 16 séances de vol d'une durée totale d'environ 25 heures, sont déjà suffisamment fructueux pour que l'avion-laboratoire apparaisse dès maintenant comme un des moyens d'investigation les plus puissants que possède la Commission.

L'avion équipé était un multiplace bimoteur POTEZ 540 choisi à cause de ses dimensions importantes (envergure 22,2 m., masse

¹ Une nouvelle campagne a eu lieu en 1937 avec un matériel encore perfectionné et trois avions: Potez 54, Potez 25, Potez 58; M. DUPONT publiera prochainement le Compte rendu détaillé de ses recherches.

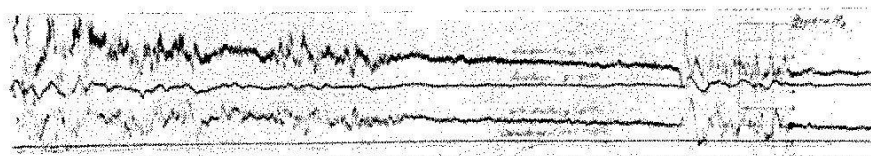
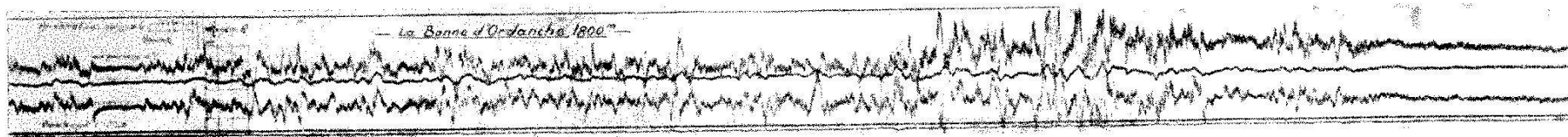
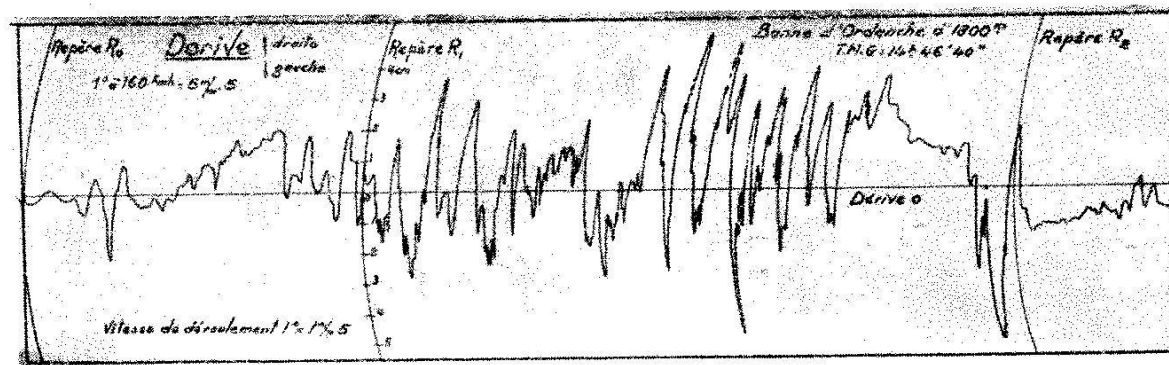
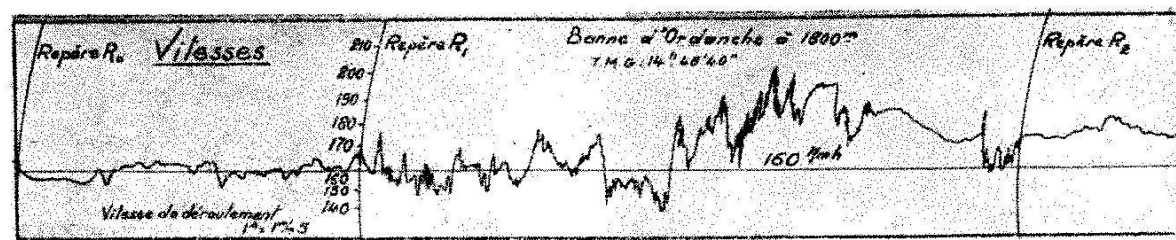


Fig. 2

7 tonnes) et surtout de sa grande stabilité, en vue de séparer facilement la part des perturbations atmosphériques et des réactions de l'appareil; il emportait les instruments suivants:

- a) Un accélérographe BAUDOUIN, comportant trois lames de quartz piézoélectrique, mesurant les accélérations instantanées parallèlement à l'axe de giration de l'avion; une des lames était placée sur le plancher de l'avion, au voisinage du centre de gravité, les deux autres aux extrémités de chaque aile.
- b) Un anémoclinomètre porté par une hampe de 1,20 m. environ en avant du fuselage; il mesurait, en ce point la grandeur de la vitesse relative de l'air et les deux angles d'incidence et de dérapage.
- c) Un appareil Askania enregistrant sur la même bande sensible, quatre spots correspondant à la mesure de: la pression (altimètre); la vitesse (Venturi); la température (thermomètre à résistance); l'inclinaison de l'appareil par rapport à la verticale (pendule amorti).
- d) Un météorographe O. N. M. mesurant la température, la pression et l'état hygrométrique.

En outre l'Observateur, placé dans la tourelle avant, photographiait le ciel à intervalles très rapprochés, de manière à pouvoir reconstituer le déroulement de ses aspects caractéristiques.

Le programme des essais a comporté:

- 1° Le survol fréquent de la *Banne d'Ordanche* (1467 m. d'altitude) à des hauteurs allant de 100 à 500 mètres dans quatre directions croisées de manière à étalonner les mesures faites en vol par rapport aux mesures des appareils similaires placés au sol.
- 2° Des vols de longue durée, au-dessus de contrées variées, pour dégager l'évolution de la turbulence en fonction de l'orographie; dans ce but l'avion a accompli, en partant de Clermont-Ferrand, les voyages suivants: *Pau; Lyon; Marignane; Marignane - Istres - Porquerolles - Marignane; Marignane - Clermont-Ferrand.*
- 3° Des vols d'exploration au-dessous, autour et à l'intérieur des nuages de convection: cumulus et cumulo-nimbus; trois séances ont été consacrées à cette recherche.

La figure 2 montre un exemple des enregistrements fournis par l'anémoclinomètre et par l'accélérographe (bande inférieure de la

figure, plus longue que les autres, car la vitesse de déroulement était plus grande que celle des manomètres enregistreurs Richard).

La figure 2 se rapporte à un passage de l'avion à 300 m. au-dessus de la crête Puy-Loup-Banne d'Ordanche, dans une violente bourrasque où la vitesse du vent au sol atteignait 25 m./sec. L'intensité des rafales est mise en évidence par la courbe de vitesse de l'anémoclinomètre qui saute brusquement de 140 à 190 km./h., tandis que la dérive oscille rapidement à plusieurs reprises entre -8° et $+8^{\circ}$. Pour l'accélérographe un déplacement de 1 cm. du spot (l'échelle de la reproduction est donnée par un quadrillage, près du repère R, dont les mailles ont 1 cm.) correspond à g.; la courbe médiane donne l'accélération du centre de gravité; les deux autres les accélérations en bout d'aile. Au passage le plus critique, on voit que l'avion ayant une accélération générale égale à 1 g., amorce un mouvement de rotation très rapide autour de son axe longitudinal, une des ailes accusant une accélération de $+4$ g. 5, l'autre de -4 g. 5.

Au cours d'un des vols l'avion volant contre le vent dans une bourrasque de NW, le 27 septembre, au-dessus des monts du Forez, dans la région d'Ambert, essaya de franchir le col de la Croix de l'Homme Mort, au-dessous de nuages de pluie traînant très bas sur la ligne de crête, mais pris dans le rabattant du col et se trouvant trop bas pour le franchir, le pilote, environ 50 m. avant le col « enleva » brusquement son appareil sur une aile pour le faire virer; au cours de cette manœuvre l'enregistrement montre que l'accélération atteignit $+10$ g. sur l'aile haute

* * *

J'indiquerai enfin comment, depuis 1933, j'ai systématiquement utilisé les nuages comme méthode de visualisation des mouvements atmosphériques, méthode évidemment critiquable puisque la présence du nuage perturbe l'atmosphère, mais néanmoins très intéressante puisqu'elle est la seule à pouvoir nous donner des renseignements sur les mouvements d'une portion suffisamment étendue de l'atmosphère.

L'application du cinéma à l'enregistrement des mouvements des nuages date du début de la technique cinématographique; il serait donc trop long d'en faire ici l'historique.

Les mouvements des masses nuageuses s'effectuent à la vitesse de quelques mètres par seconde et s'observent en général à des distances de plusieurs kilomètres; contrairement à ce qui se passe pour la plupart des phénomènes de Mécanique des Fluides observés dans les Laboratoires, il y a intérêt à accélérer ces mouvements.

En prenant un film à une cadence très lente (depuis une vue toutes les secondes jusqu'à une vue toutes les 10 secondes) la projection normale (20 vues par seconde) accélère de 20 à 200 fois l'évolution des nuages observés.

J'ai effectué des campagnes de recherches successivement en Savoie, en Auvergne, dans l'Oberland Bernois et dans le Haut-Valais; je me suis attaché aux trois objets suivants:

- 1° Etude des mouvements des cumulus dont la formation est due principalement à des ascendances d'origine thermique (film réalisé à la Banne d'Ordanche, Auvergne, en vue de documenter le centre National de Vol sans Moteur);
- 2° étude des mouvements périodiques qui animent les tours cumuliformes dominant une mer de nuages (film réalisé en Haute-Savoie autour du Mont Blanc et dans l'Oberland Bernois à la Station Scientifique du Jungfraujoeh);
- 3° étude de l'écoulement autour d'une montagne isolée de forme géométrique très simple (film réalisé au Mont Cervin).

Sur chacun de ces films on a pointé le déplacement de certains détails fins de la masse nuageuse, bien identifiables d'une vue à la suivante; on en déduit facilement un faisceau de trajectoires des particules d'air atmosphérique.

L'étude de l'écoulement autour du Mont Cervin s'est montrée particulièrement fructueuse à cause de la forme simple de cette montagne, d'une pureté presque géométrique; le Cervin est en effet une pyramide à 4 faces (sommet 4505 m.), avec arêtes presque rectilignes et des faces quasi-planes posée sur un socle bien dégagé et relativement plat (2000 à 2500 m.).

Par vent du secteur N à W un nuage de sillage manifeste un premier rouleau tourbillonnaire d'une épaisseur d'environ 500 m. dont la branche descendante est à 2 km. du sommet; au delà s'étend un second rouleau très net dont le centre est vers 4 km.; en outre, dans la partie inférieure de la face au vent se déroule un tourbillon hélicoïdal analogue aux tourbillons marginaux des ailes d'avions.

On a confronté les résultats des films avec des essais sur une maquette de 0,40 m. de haut dans la grande soufflerie de l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille, l'accord a été tout à fait remarquable.¹

Une grande partie de ces recherches ayant été accomplies dans vos belles montagnes, pour lesquelles mon amour est fervent, j'acquitterai donc une part de ma dette de reconnaissance pour l'hospitalité si aimablement accordée à un chercheur français, en vous projetant quelques-unes des bandes réalisées autour du *Mont Cervin*. C'est par là que je terminerai ce voyage à vol d'oiseau à travers mon vaste sujet, bien heureux si j'ai pu vous convaincre de l'intérêt des problèmes que nous nous efforçons de résoudre.

¹ J. KAMPÉ DE FÉRIET: Atmosphärische Strömungen. Wolkenstudien nach Kinaufnahmen im Hochgebirge (Jungfrau und Matterhorn). (Meteorologische Zeitschrift, 1936, p. 271—280.) Voir aussi les écrits plus détaillés de mon collaborateur A. DESCAMPS. Sur l'exploration en Soufflerie d'une maquette du Cervin. (Association des Ingénieurs de l'Ecole des Mines de Mons, 1937, 1^{er} fascicule, n° 60.) Une campagne d'étude des courants aériens à la Station scientifique du Jungfraujoch (idem 1937, 2^e fascicule, n° 61).

Die Erscheinungen in der Chromosphäre der Sonne

Von

WILLIAM BRUNNER, Zürich

Mit 16 Abbildungen

Nach heutigem Wissen ist die Sonne eine riesige strahlende Gaskugel von mehr als einer Million Kilometer Durchmesser. Die gewaltige Energiemenge, die sie ausstrahlt und von der ein ganz kleiner Teil auch unsere Erde trifft, entsteht in der Hauptsache in den innersten Schichten. Bei der im Sonneninnern herrschenden hohen Temperatur erfolgt der Energietransport von innen nach aussen vorwiegend durch Strahlung oder genauer, weil strahlende Materie selbst sehr undurchlässig ist für Energiestrahlung, durch Strahlung, Absorption und Wiederausstrahlung der absorbierten Energie in den aufeinanderfolgenden Schichten. In einem bestimmten Abstand vom Zentrum kommt schliesslich eine Zone, in welcher Druck, Dichte und Temperatur solche Werte annehmen, dass die von tieferen Schichten in sie eindringende Strahlung nicht mehr vollständig absorbiert wird, sondern zum Teil in den Aussenraum dringt. Aus dieser Zone stammt der Hauptteil der Strahlung, die wir messen und in der wir die Sonne als die bekannte helle Scheibe sehen. Man nennt diese Zone die Photosphäre der Sonne. Die dunkeln Sonnenflecken, die hellen Lichtadernetze oder Fackeln und die Granulation, die wir im Fernrohr auf der Sonnenscheibe wahrnehmen, gehören der Photosphäre an. Die Basis der Photosphäre markiert die Schicht, bis zu der wir in die strahlende Gaskugel hineinsehen. Über der Photosphäre, für unser Auge über der scheinbaren Sonnenscheibe, sind auch noch strahlende Gasmassen, aber wegen der geringeren Dichte sind sie durchsichtiger. Wir heissen diese äusseren, durchsichtigen strahlenden Gasmassen die Atmosphäre der

Sonne. Sie ist für gewöhnlich nicht sichtbar, weil das von ihr ausgestrahlte Licht so schwach ist, dass es von der in der Nähe des Sonnenortes am Himmel stark erleuchteten Erdatmosphäre überstrahlt wird. Im Fernrohr und auf gewöhnlichen photographischen Aufnahmen der Sonne verrät sich diese Atmosphäre nur durch einen Abfall der Helligkeit der Sonnenscheibe von der Mitte gegen den Rand. Bei einer totalen Sonnenfinsternis blendet der Mond das Licht der Photosphäre ab und beschattet auch die Erdatmosphäre in einem grossen Segment über dem Beobachtungsort. Die verfinsterte Sonne erscheint umgeben von einem sehr schmalen, nur zehn bis fünfzehn Sekunden hohen rosafarbenen Ring, aus dem an einzelnen Stellen helle rötliche Lichtzungen, die sogenannten Protuberanzen, hervorragen. Wir heissen diese unterste Schicht der Sonnenatmosphäre die Chromosphäre. An diese schliesst sich ein heller silberweisser Lichtsaum von unregelmässiger Gestalt, die Korona an, die nach aussen an Intensität rasch abnehmend, oft mehrere Sonnenradien weit reicht. In den äusseren, der Beobachtung zugänglichen Teilen des Sonnenballes haben wir also drei Schichten zu unterscheiden: die Photosphäre mit den Flecken und Fackeln, die Chromosphäre mit den Protuberanzen und die Korona.

Für den kontinuierlichen Untergrund im Spektrum der Sonnenstrahlung ist die Strahlung der photosphärischen Schicht verantwortlich. Die vielen dunklen Absorptionslinien oder sog. Fraunhoferschen Linien entstehen durch verwickelte, selektive Absorptions- und Streuungsprozesse im untersten Teil der Chromosphäre.

Die Photosphäre mit den Flecken und Fackeln kann man jederzeit mit dem gewöhnlichen Fernrohr beobachten und photographieren. Die Beobachtung der Chromosphäre mit den Protuberanzen dagegen war bis in die Siebzigerjahre des vorigen Jahrhunderts nur während den paar Minuten der Totalitätsphase einer totalen Sonnenfinsternis möglich. Totale Sonnenfinsternisse sind aber so seltene Erscheinungen, dass man im Durchschnitt nur mit einer Beobachtungsmöglichkeit von einer Minute jedes Jahr für die Chromosphäre und Korona rechnen konnte. Das ist wenig. Es war deswegen ausserordentlich wichtig, Methoden zu ersinnen, mit denen man die Erscheinungen in den äusseren strahlenden Gashüllen der Sonne jederzeit unabhängig von totalen Sonnenfinsternissen beobachten konnte.

Ich möchte zeigen, wie solche Beobachtungen möglich sind und welche Ergebnisse sie bis heute zeitigten. Mit Rücksicht auf die Zeit, die mir zur Verfügung steht, muss ich mich auf die Chromosphäre beschränken und will nur erwähnen, dass in den letzten Jahren ein junger französischer Astronom, Herr LYOT, einen Apparat konstruiert hat, mit dem man auch die Korona und ihr Spektrum visuell und photographisch unabhängig von den totalen Sonnenfinsternissen unter günstigen Bedingungen auf hohen Bergstationen jederzeit beobachten kann.¹

Zuerst lernte man die Chromosphäre und ihre Erhebungen wenigstens in der Randzone der Sonne beobachten. Die Möglichkeit hierzu beruht darauf, dass das Spektrum der strahlenden Gase der Chromosphäre ein Emissionslinienspektrum ist, in welchem namentlich die Linien des Wasserstoffs, die Linien *H* und *K* des ionisierten Kalziums und des Heliums recht auffallend sind. Schon die ersten Beobachter des Spektrums der Chromosphäre und der Protuberanzen bei totalen Sonnenfinsternissen sagten sich, dass einige der Emissionslinien so hell sind und so hoch hinauf in der Chromosphäre anspielen, dass es möglich sein müsste, sie auch ausserhalb der Finsternisse wahrzunehmen und in ihrem Licht die Chromosphäre monochromatisch zu beobachten. Stellt man in der Tat den Spalt eines Spektralapparates, der an Stelle des Okulars an ein Fernrohr angebracht ist, tangential an den Sonnenrand, so sollten sich die chromosphärischen Linien hell im Spektrum zeigen, wenn nicht das Streulicht in der Atmosphäre störend auftreten und die Emissionslinien überstrahlen würde. Dieses spektrale Streulicht, das Luftspektrum, wie wir Sonnenbeobachter sagen, kann man durch Anwendung genügend grosser Dispersion so abschwächen, dass sich die Emissionslinien, am schönsten die rote Linie H_{α} des Wasserstoffs, hell abheben vom kontinuierlichen Grund des Luftspektrums, soweit der Spalt über der Chromosphäre steht (Abb. 1). Wenn der Himmel schön klar ist und namentlich nicht viel Staub und Cirri in der Luft sind, kann man den Spalt weiter öffnen und die Chromosphäre und ihre Erhebungen am Sonnenrand monochromatisch beobachten. Am leichtesten ist die Beobachtung im Lichte der roten Wasserstofflinie.

¹ Im Laufe des Vortrages wurden Filmaufnahmen von drei eruptiven Protuberanzen vorgeführt, die Herr Lyot mit seinem Koronagraphen auf dem Pic de Midi gemacht hat.

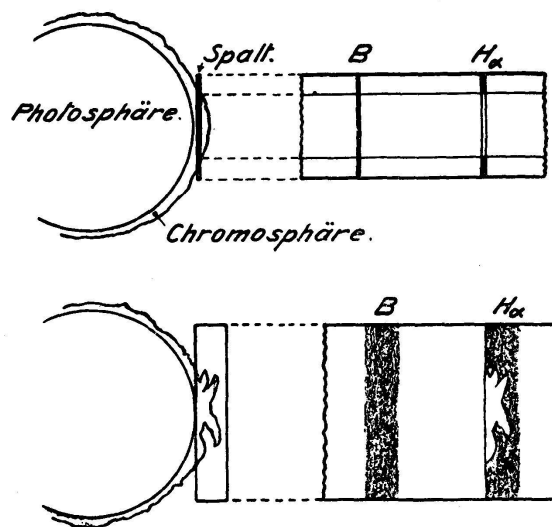
Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, dass die Chromosphäre die Photosphäre in einer Schicht von unregelmässiger Höhe von 7000 bis 12 000 km umgibt. Nur an wenigen Stellen ist ihre obere Grenze ruhig und eben, fast überall läuft das Bild der Chromosphäre nach aussen in eine grosse Zahl von kleinen Strahlen aus und es scheint so die Grenze der Chromosphäre mit leuchtenden Formen von Haaren, Borsten und Grashalmen besetzt.

Diese Methode der Beobachtung der Chromosphäre im Lichte einer bestimmten Spektrallinie hat weniger für die eigentliche Struktur der Photosphäre als für ihre Erhebungen, die Protube-

Abb. 1

Beobachtung der Chromosphäre am Sonnenrand in der Strahlung der roten Wasserstofflinie $H\alpha$

B : In der Erdatmosphäre entstehende Absorptionslinie



ranzen, wichtige Ergebnisse ergeben. An einigen Sternwarten, unsere eidgenössische Sternwarte gehört seit fünf Jahrzehnten dazu, wird der Rand der Sonnenatmosphäre in der roten Wasserstofflinie jeden günstigen Tag regelmässig nach Protuberanzen abgesucht. Die beobachteten Protuberanzen werden ihrer Lage und ihrer Ausdehnung nach ausgemessen, in ihren mannigfaltigen Formen gezeichnet und zu täglichen chromosphärischen Randbildern der Sonne vereinigt und publiziert. Aus diesen langjährigen Beobachtungsreihen ergaben sich interessante Gesetze über die Verteilung und die Häufigkeit der Protuberanzen. Ein wichtiges Ergebnis ist z. B., dass die Protuberanzentätigkeit auch dem elfjährigen Zyklus der Flecken- und Fackeltätigkeit in der Photosphäre folgen. Die Helligkeit der meisten Protuberanzen ist merklich geringer als die Helligkeit der Chromosphäre im gleichen monochromatischen Licht. Die durchschnittliche Höhe ist 30 000 bis 40 000 km. Die grösste bis jetzt beobachtete Protuberanzhöhe ist 930 000 km. Dabei handelt

es sich um eine sog. eruptive Protuberanz und die erwähnte riesige Höhe wurde nur noch von einzelnen losgerissenen Protuberanzwolken erreicht. Die Erfahrung lehrte nämlich, dass zwei Hauptklassen von Protuberanzen unterschieden werden müssen: die ruhenden und die eruptiven oder metallischen Protuberanzen. Die ersten bilden die eigentlichen kleinen und grossen Erhebungen der Chromosphäre, die wie jene in grösseren Höhen im Spektrum die Linien von Wasserstoff, Helium und Kalzium zeigen. Die eruptiven Protuberanzen entstehen ganz plötzlich, und zwar ausschliesslich über Fleckentätigkeitsherden der Photosphäre und verschwinden rasch wieder, die kleinen nach 10 bis 20 Minuten, die grösseren nach einer oder mehreren Stunden. Die eruptiven Protuberanzen sind namentlich in der ersten Entwicklungsphase viel heller als die ruhenden Protuberanzen, ändern ihre Formen äusserst rasch und zeigen im Spektrum auch viele Metalllinien.

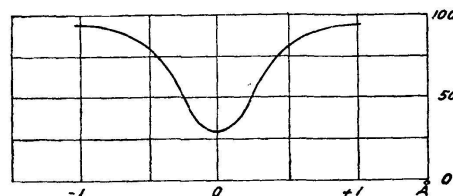
Das besprochene einfache Verfahren gestattet nur, das schmale Stück der Chromosphäre zu beobachten, das am scheinbaren Sonnenrand die Photosphäre ringförmig umschliesst. Vor gut 40 Jahren bauten gleichzeitig HALE in Amerika und DESLANDRES in Meudon einen Apparat, den Spektroheliographen, mit dem man monochromatische photographische Aufnahmen der ganzen, der Photosphäre vorgelagerten Chromosphäre machen kann im Lichte der breiteren Absorptionslinien des Sonnenspektrums. Die Linien scheinen nur durch Kontrast so dunkel; in Wirklichkeit haben sie noch eine recht beträchtliche Helligkeit. Das erkennt man, wenn eine solche Linie durch einen feinen Spalt ausgeblendet wird, so dass nur monochromatisches Licht von dieser Linie in das Auge kommt. Der Grundgedanke zur Herstellung von monochromatischen photographischen Aufnahmen mit dem Spektroheliographen besteht darin, dass aus dem Spektrum durch einen zweiten Spalt (Monochromatorspalt) der gewünschte enge Wellenbereich ausgeblendet und hinter ihm eine photographische Platte synchron mit dem auf den ersten Spalt entworfenen Sonnenbild verschoben wird.

Die Strahlung im kontinuierlichen Grund des Sonnenspektrums rührt her von der Photosphäre und die Strahlung in den Fraunhoferschen Linien von den emittierenden und absorbierenden Atomen der Chromosphäre. Stellt man also den Monochromatorspalt auf irgendeine Wellenlänge des kontinuierlichen Spektrums, so erhält man ein Spektroheliogramm, d. h. eine monochromatische Aufnahme

der Photosphäre, auf der nichts zu sehen ist, als die bekannten Sonnenflecken der gewöhnlichen Sonnenaufnahmen. Neues aber geben die Aufnahmen mit dem Spektroheliographen im Lichte einzelner Fraunhoferscher Linien: nämlich Auskunft über die Verteilung der Atome in der Chromosphäre, welche die zugehörigen Wellenlängen emittieren und absorbieren. Dabei zeigt sich, dass die Bilder verschieden aussehen, wenn der Monochromatorspalt, der enger sein muss als die Linienbreite, in verschiedenen Abständen von der Linienachse aufgesetzt wird. Mikrophotometrische Auswertungen der Linien auf photographischen Aufnahmen des Sonnenspektrums

Abb. 2

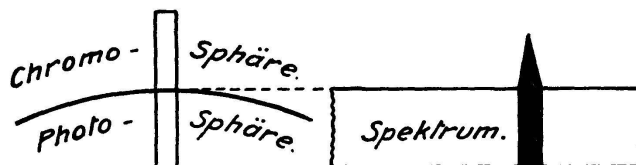
Intensitätskurve einer Natriumlinie im Sonnenspektrum
Abszisse: Wellenlängen in Angström-Einheiten von der Linienachse aus gezählt
Ordinate: Helligkeit (Kontinuierlicher benachbarter Spektralgrund = 100)



mit sehr grosser Dispersion lehren, dass die Intensität der Strahlung sich ändert innerhalb der Linienbreite. Abb. 2 stellt den normalen Verlauf der Intensitätskurve einer Fraunhoferschen Linie dar. Verschiebt man bei einer spektroheliographischen Aufnahme

Abb. 3

Fraunhofersche Linie des Sonnenspektrums bei radialem Spalt am Rande (schematisch)



den Monochromatorspalt von der Linienmitte gegen die Flügel hin, so bedeutet das ein Abtasten der Chromosphäre in verschiedenen vertikalen Schichten von oben nach unten. Dass dem so ist, erkennt man aus der Lanzenspitzenform, mit der sich die Absorptionslinien bei radial aufgesetztem Spalt des Spektralapparates vom Sonnenrand weg als Emissionslinie in die Chromosphäre hinein fortsetzen (Abb. 3).

Der spektroheliographische Effekt, d. h. die Tatsache, dass die monochromatischen Bilder der Chromosphäre für verschiedene Stellen einer Absorptionslinie im Sonnenspektrum verschieden ausfallen, lässt sich physikalisch verstehen aus den Vorstellungen, die man sich macht über die Entstehung der Absorptionslinien. Wahrscheinlich entstehen sie zu einem kleinen Teil durch selektive

Absorption, in der Hauptsache aber durch selektive Streuung der kontinuierlichen Strahlung der Photosphäre an den Atomen der Chromosphäre. Der Streukoeffizient lässt sich theoretisch berechnen und nimmt zu von den Rändern der Linie gegen die Mitte. Für die Wellenlängen ausserhalb der Linienbreite geht das Licht ohne Streuung durch die Chromosphäre hindurch und im Lichte einer solchen Wellenlänge erhält man ein monochromatisches Bild der photosphärischen Schicht. Rückt man mit dem Monochromatorspalt in die Linie hinein, so erhält man eine spektroheliographische Aufnahme der über der Photosphäre liegenden Ansammlung mono-

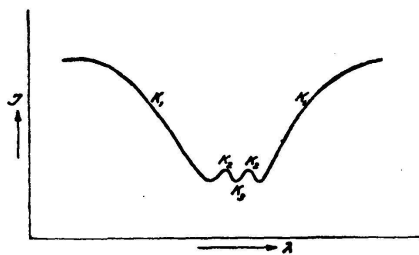


Abb. 4

Intensitätskurve der Linie *K* des ionisierten Kalziums im Sonnenspektrum (schematisch)

chromatisch streuender Atome desjenigen Elementes, für das die betreffende Linie charakteristisch ist. Je nach dem innerhalb der Linienbreite benutzten Wellenlängenbereich stammt aber das gestreute Licht, in welchem die Atomwolke sichtbar wird, aus verschiedenen Niveauschichten der Chromosphäre der Sonne. Die von der Linienachse weit entfernten Teile der Spektrallinie, die kleinen Streukoeffizienten entsprechen, werden in den unteren Schichten gestreut, in denen die Dichte noch verhältnismässig gross ist. Infolge des grossen Streukoeffizienten in der Mitte der Linie wird die entsprechende Strahlung in den höchsten Schichten trotz der geringen Dichte noch stark gestreut. Wegen der geringen Dichte entspricht dieser Strahlung ein sehr schmaler Wellenlängenbereich um die Linienachse. Wird der enge Monochromatorspalt auf die Linienachse gestellt, so muss man also ein Bild der höchsten Schichten bekommen.

Die auffallendsten Linien im Sonnenspektrum sind die Linien *H* und *K* des ionisierten Kalziums bei Beginn des ultravioletten Teiles. Es sind die breitesten Linien des Spektrums, und sie spielen in der Chromosphäre in die grössten Höhen hinauf an. Spektroheliographische Aufnahmen macht man gewöhnlich mit der Linie *K*, weil sie weniger als *H* durch andere Linien gestört und auch breiter ist. Diese Linie hat eine besondere Struktur (Abb. 4 und

Tafel I

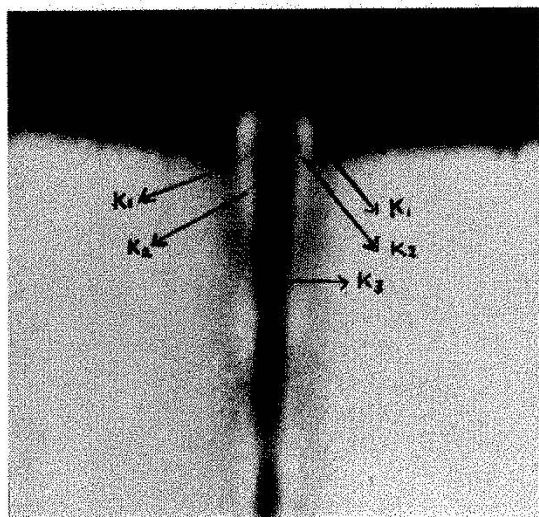


Abb. 5

Die Linie *K* bei radialem Spalt am Sonnenrand (nach einer fotogr. Aufnahme von d'Azambuja in Meudon)

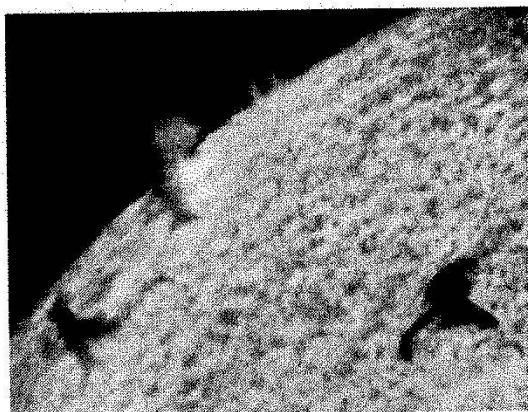


Abb. 7

Dunkle Flocke am Sonnenrand als helle Protuberanz (nach einer Mount Wilson-Aufnahme)

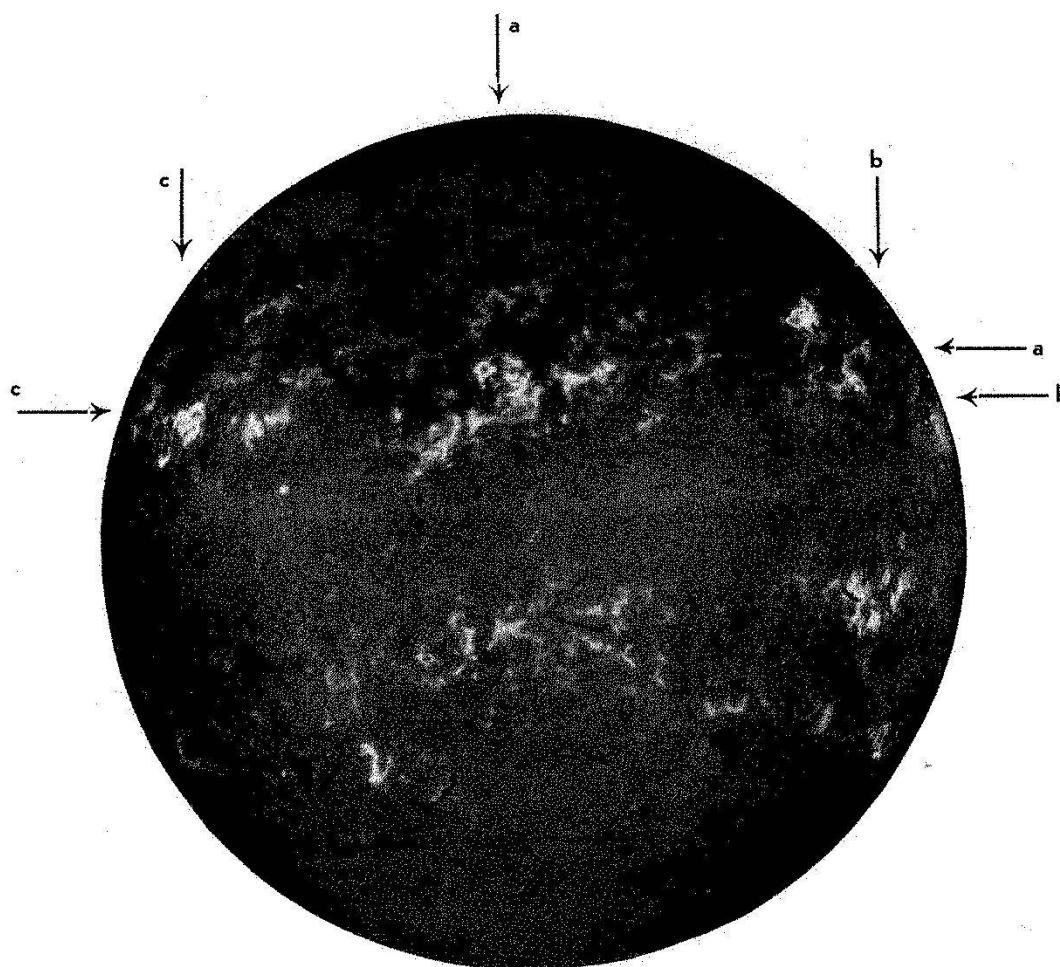


Abb. 8

Spektroheliogramm der Chromosphäre in der Strahlung der Mitte der Linie *H α* des Wasserstoffs. (Aufn. von d'Azambuja, Meudon)
a = helle Wasserstoff-Flocke; *b* = dunkle Wasserstoff-Flocke;
c = Chromosphärische Eruption

Tafel II

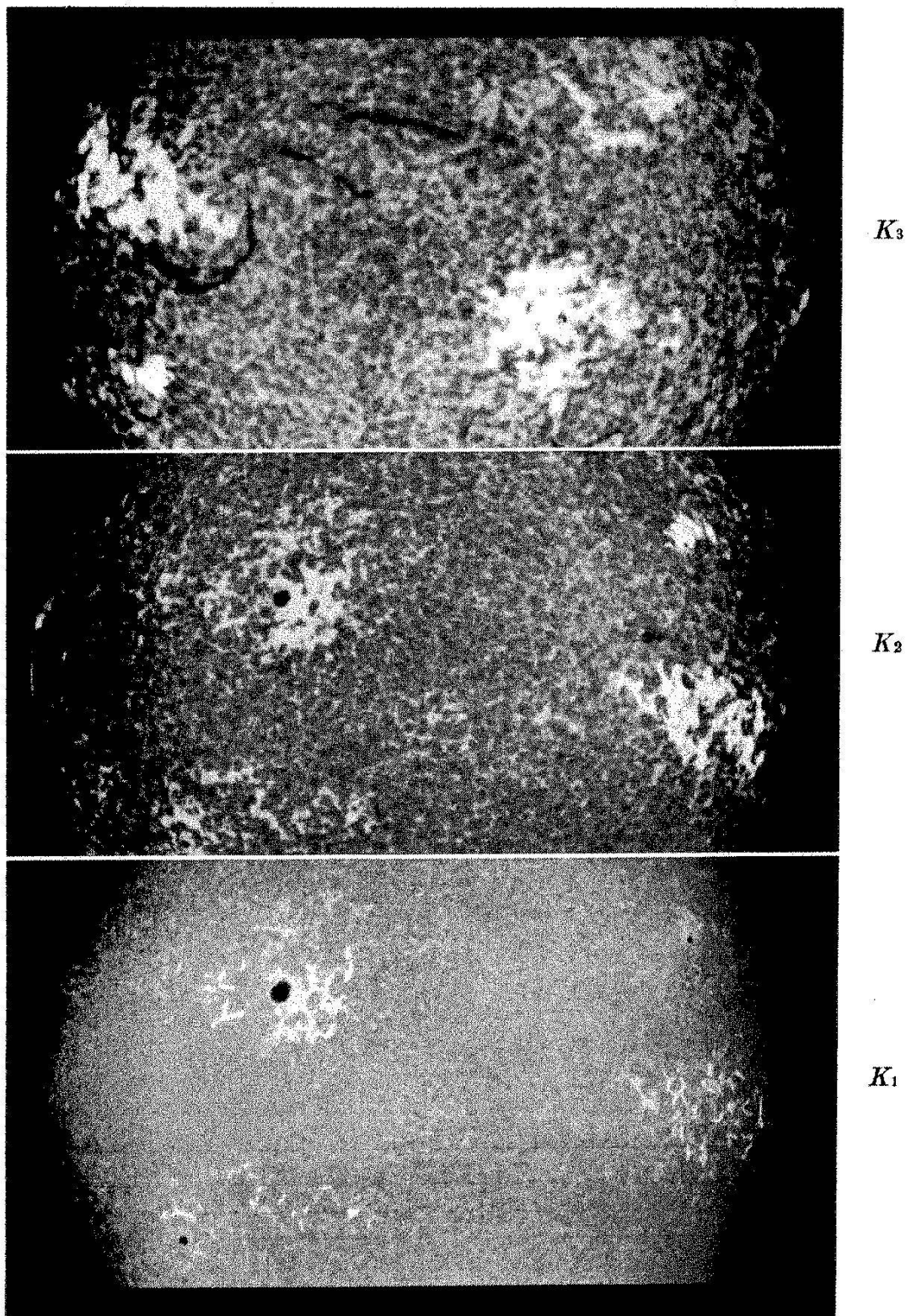


Abb. 6

Spektroheliographische Aufnahme desselben Teiles der Chromophäre der Sonne in den Strahlungen K_3 , K_2 , K_1 der Linie K des ionisierten Kalziums (Nach Aufnahmen von d'Azambuja, Meudon)

Tafel III

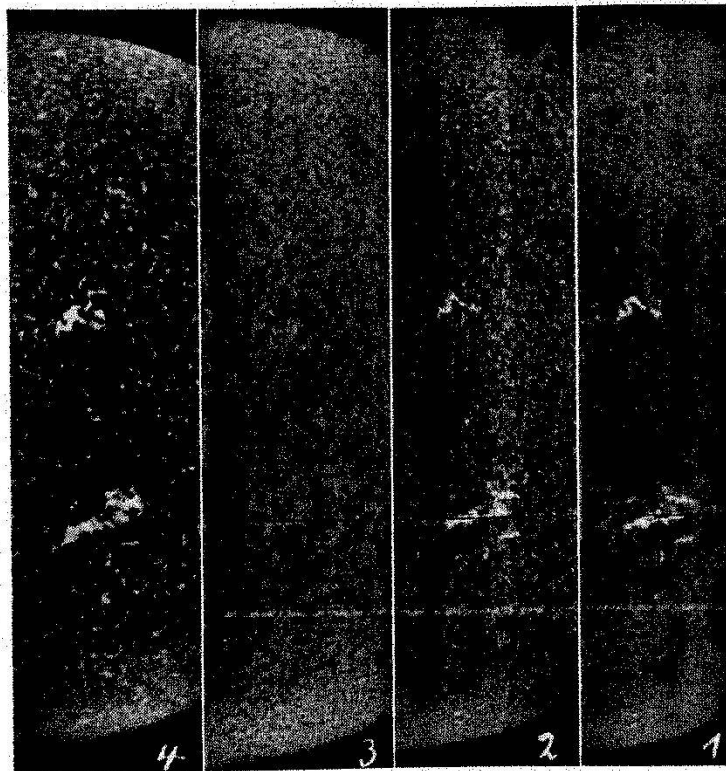


Abb. 9

Spektroheliographische Bilder desselben Teiles der Chromosphäre in der Strahlung verschiedener Stellen der Linie $H\alpha$ des Wasserstoffs

1: Linienmitte; 2: zwischen Linienrand und Mitte;
3: Rand der Linie; 4: Strahlung K_{23} der Linie K des ionisierten Kalziums
(Nach Meudoner-Aufnahmen)

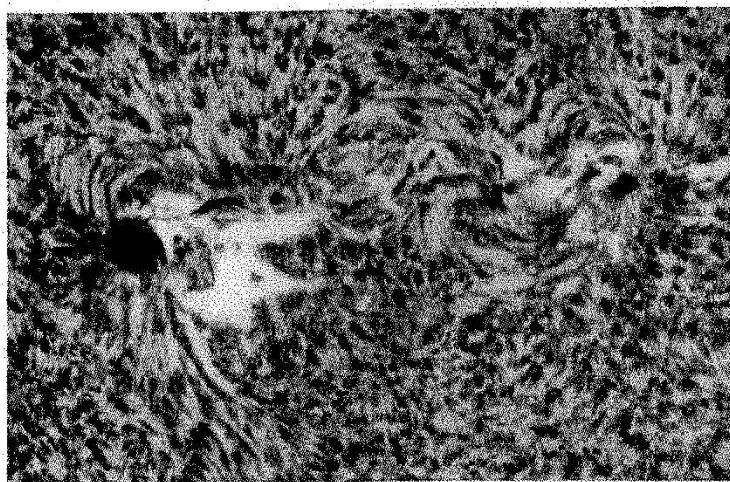


Abb. 10

Wirbelstruktur der höheren Chromosphäre auf einem Wasserstoff-Spektroheliogramm
(Nach einer Mount Wilson-Aufnahme)

Tafel IV

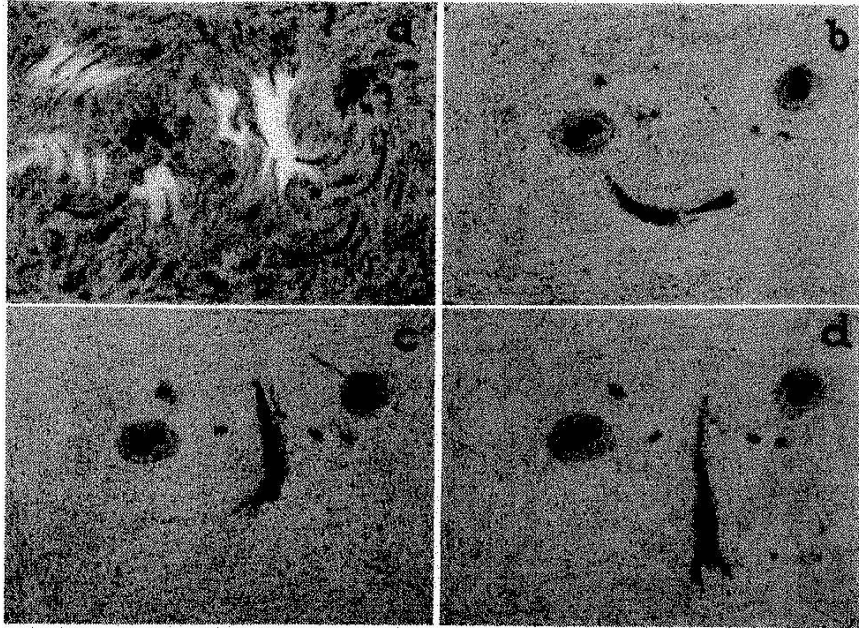


Abb. 13

Die grosse chromosphärische Eruption am 14. Febr. 1936
nach der Beobachtung im Zürcher Spektrohelioskop

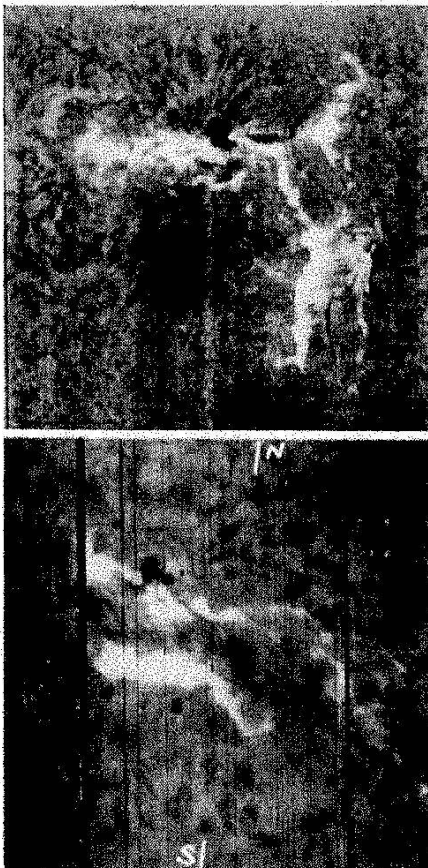


Abb. 11

Helle bedeutende chromosphärische Eruptionen
(Nach Mount Wilson-Spektroheliogrammen)

Abb. 5, Tafel I). Über den normalen Verlauf K_1 der Intensität einer Fraunhoferschen Linie, wie wir ihn in Abb. 2 dargestellt haben, lagert sich gegen die Linienmitte hin die Intensität K_2 einer Emissionsschicht in grösserer Höhe, die ihrerseits wieder infolge der Absorption in den höchsten Schichten die Einsenkung K_3 aufweist.

Spektroheliogramme im Lichte der Teile K_1 , K_2 oder K_3 (Abb. 6, Tafel II) zeigen Unterschiede, die nach schon Gesagtem verschiedener Höhe in der Chromosphäre entsprechen. Nach DESLANDRES und D'AZAMBUJA entspricht der Aufnahme im Lichte der Linie K_3 eine Schichthöhe bis 5000 km, im Lichte der Linie K_2 bis 3500 km und für K_1 bis rund 1000 km. Im sogenannten „Flashspektrum“ der Sonnenchromosphäre, das bei totalen Sonnenfinsternissen gewonnen wird im Augenblick und an der Stelle der inneren Berührung der Sonnenscheibe mit der dunklen Mondscheibe, ist die K -Linie bis in die Höhe 14 000 km angezeigt. Die zuerst angegebenen Zahlen sind aus den gemessenen verschiedenen Durchmessern der Spektroheliogramme im Licht K_1 , K_2 , K_3 der Linie K und des kontinuierlichen Grundes des Spektrums in der Nachbarschaft dieser Linie bestimmt worden. Der Unterschied ist natürlich dadurch bedingt, dass die höheren, äusserst wenig dichten Schichten der Kalziumchromosphäre bei gewöhnlichen Spektralaufnahmen ausserhalb von Finsternissen durch das Streulicht der Sonne überstrahlt werden.

Wir betrachten zuerst die Aufnahme im Lichte der feinen Absorptionslinie K_3 . Die Aufnahme zeigt die Struktur der höchsten Kalziumschichten in der Chromosphäre. Auf dem Bilde fallen zuerst über den Tätigkeitsherden für Flecken und Fackeln helle Felder auf. DESLANDRES nennt sie „plages faculaires de calcium“. In deutschen astronomischen Schriften hat sich die Bezeichnung helle Kalziumflocken eingebürgert. Sie sind auf die Zonen der Flecken und Fackeln beschränkt und kommen in grösseren heliographischen Breiten nicht mehr vor. Weiter sind auffallend, und zwar über die ganze Chromosphärenscheibe hin vorkommend, grosse und kleine, unregelmässige, sehr verschiedenartige dunkle Formen. Man heisst sie dunkle Kalziumflocken (Abb. 6, K_3). Wenn eine solche durch die Rotation an den Rand der Sonnenscheibe geführt wird, erscheint sie dort als helle Protuberanz (Abb. 7, Tafel I). Dunkle Flocken sind also einfach Protuberanzen. Sie projizieren sich dunkel auf die Chromosphärenscheibe, weil sie im allgemeinen weniger hell sind als diese.

Als drittes zeigen die K_3 -Aufnahmen noch viele isolierte kleine Flocken in allen Teilen der Chromosphärenscheibe. Es sind dies die sogenannten Flocculi. Wird der Monochromatorspalt von K_3 auf die schwache Emission K_2 der Linie K übergeführt, so verschwinden die dunkeln Flocken (Protuberanzen), die Helligkeit der Flocken und Flocculi nimmt ab und die Begrenzungen der hellen Flocken werden weniger diffus (Abb. 6, K_2). Auf den Aufnahmen im Lichte der Flügel K_1 der Linie K (Abb. 6, K_1) erscheinen die hellen Flocken und Flocculi noch schwächer. Auf diesen K_1 -Aufnahmen sind auch die Sonnenflecken der Photosphäre sehr gut sichtbar, während sie im Lichte der Teile K_2 und K_3 der Linie K mehr und mehr durch helle Flocken überdeckt erscheinen.

Nach den breiten Linien H und K des ionisierten Kalziums sind die ersten vier Linien der Balmerreihe des Wasserstoffes die auffallendsten Linien im Sonnenspektrum und von ihnen insbesondere die erste Linie H_α der Serie, die fast gleich hoch hinauf anspricht in der Chromosphäre wie die Linie H und K . Auf den Aufnahmen (Abb. 8, Tafel I) in der Strahlung der Linienachse, die den höchsten Schichten entspricht, zeigen Wasserstoff-Spektroheliogramme helle und dunkle Flocken wie die K_3 -Bilder der Kalziumlinie K . Die dunklen Flocken (Protuberanzen) haben auf gleichzeitigen Wasserstoff- und Kalziumaufnahmen fast genau die gleiche Form. Die hellen Wasserstoffflocken dagegen erscheinen weniger dicht und weniger ausgedehnt und sind in ihren Formen mehr nur auf die Kämme der entsprechenden Kalziumflocken reduziert (Abb. 9, Tafel III). Die Chromosphärenscheibe ist im Lichte der Linienachse von H_α am dunkelsten und nur eine nähere Prüfung zeigt das Vorhandensein einer feinen Granulationsstruktur (Abb. 8 und Abb. 9₁). Stellt man den Monochromatorspalt etwa einen Viertel der Linienbreite seitwärts der Linienachse, so bleiben die hellen und dunklen Flocken noch gut sichtbar und die Granulationsstruktur tritt deutlicher hervor (Abb. 9₂). In der Strahlung vom Rande der Linie H_α , aus den tiefsten Schichten stammend, wird das Bild ein ganz anderes (Abb. 9₃). Nichts oder fast nichts bleibt von der vorigen Struktur. An deren Stelle erscheint ein Netz von wenig auffallenden, schwachen dunkeln Stellen, die in ihrer allgemeinen Form das Netz der hellen Flocken und Flocculi der Aufnahmen in der Linie K wiedergeben.

Die interessanten Bilder (Abb. 10, Tafel III) mit der auffallenden Wirbelstruktur der kleinen hellen und dunkeln Flocculi um grössere

Sonnenflecken herum, deren Kern man durch die Chromosphäre hindurch erkennen kann, erhält man am besten, wenn der Monochromatorspalt etwa ein Viertel der Linienbreite ausserhalb der Linienachse steht. Auf den Aufnahmen in der Strahlung K_2 der Linie K des ionisierten Kalziums ist diese Wirbelstruktur nur ganz ausnahmsweise angedeutet.

Die anderen Wasserstofflinien — es kommen nur H_β , H_γ , H_δ in Frage — geben in der Strahlung des mittleren Hauptteiles der Linien Bilder vom Charakter der Strahlung des mittleren Teiles der Linie H_α , wobei aber die charakteristischen Einzelheiten von H_β nach H_δ fortschreitend immer weniger sich abheben von der Chromosphäre, während mehr und mehr die Granulationsstruktur und die dunkeln Felder und Flocculi hervortreten, wie sie sich in den Flügelaufnahmen von H_α zeigen.

Weitaus die Mehrzahl der Absorptionslinien im Sonnenspektrum spielen nur in der alleruntersten Schicht der Chromosphäre an, in der sogenannten umkehrenden Schicht. Schon die Pioniere der Chromosphärenforschung mit dem Spektroheliographen, DESLANDRES, HALE und seine Mitarbeiter ELLERMANN und FOX stellen mit Erfolg auch spektroheliographische Aufnahmen mit Linien aus diesem tiefen Niveau her. Mit genügend grosser Dispersion, um Aufnahmen in der Linienmitte und an den Flügeln machen zu können, hat aber erst kürzlich L. D'AZAMBUJA vom astrophysikalischen Observatorium in Meudon systematisch die Struktur der unteren Schichten der Chromosphäre untersucht und auch zum erstenmal Aufnahmen gemacht der Chromosphäre in der Strahlung von Linien des ionisierten Kalziums weit draussen im ultraroten Teil des Spektrums.

Ein Hauptergebnis der Untersuchungen von D'AZAMBUJA ist, dass die Spektroheliogramme der benützten 11 Linien von 5 Elementen der umkehrenden Schicht zwei von den Wasserstoff- und Kalziumaufnahmen her bekannte Strukturtypen zeigen, die getrennt oder je nach der Stellung des Monochromatorspaltes in verschiedenen Verhältnissen gemischt, das Aussehen des Bildes bestimmen. Es sind einerseits die hellen Flocken und Flocculi und andererseits die Granulation analog der Granulation auf den H_α -Aufnahmen bei ein wenig seitlicher Stellung des Monochromatorspaltes. Wenn der Monochromatorspalt in der Linienachse steht, sind beide Strukturen sichtbar, aber sich wenig abhebend auf der Chromosphärenscheibe etwa wie in den Aufnahmen der Strahlung K_1 in der Linie des

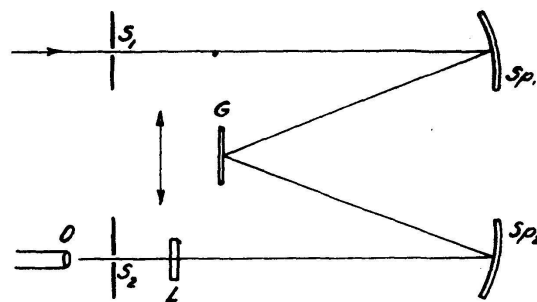
ionisierten Kalziums (Abb. 6 c). Aufnahmen in der Strahlung von den Rändern der Linien zeigen nur die Granulation. Die dunkeln Flocken (Protuberanzen) fehlen auf den spektroheliographischen Aufnahmen der umkehrenden Schicht. Die beiden Strukturtypen, helle Flocken und Flocculi einerseits und Granulation andererseits, die, wie wir jetzt wissen, sich in allen Niveauschichten der Chromosphäre zeigen, sind also wohl als Fundamentaltypen aufzufassen. Es scheint nicht, dass andere in der Chromosphäre vorhanden sind. Die auf der Chromosphärenscheibe in der Strahlung der Linien K_3 , H_α und H_β sich dunkel abhebenden Protuberanzen gehören nicht zur normalen Eigenstruktur der Chromosphäre.

Über den Mechanismus, der den besonderen Glanz der hellen Flocken hervorruft, weiss man nichts Sicheres. Sicher ist nur, dass diese Flocken im Zusammenhang stehen mit Gegenden der Photosphäre (Fackelgruppen), von denen ein stärkerer Strahlungsüberschuss ausgeht. Die Verschiedenheit der Intensitäten der hellen Flocken auf spektroheliographischen Aufnahmen im Licht verschiedener Kategorien von Linien muss also wohl ihre Ursache haben in der grösseren oder kleineren Verstärkung der durch aktive Stellen der Photosphäre hervorgerufenen Emission in diesen Linien. Am auffallendsten sind die hellen Flocken auf Bildern im Licht der Linien H und K des ionisierten Kalziums, etwas weniger für die Linien der Wellenlängen 8498 und 8542 im Infraroten, noch sehr intensiv mit H_α des Wasserstoffs, dann aber sehr schwach mit den Linien der tiefen Schichten der Chromosphäre. Wenn man von den spektroheliographischen Bildern die hellen Flocken und Flocculi wegschaffen könnte, würden die Aufnahmen in verschiedenen Linien nur eine mehr oder minder hervorstechende und mehr oder minder gleichförmige Granulation zeigen. Die Granulation erweist sich also als das charakteristische Merkmal der Eigenstruktur der strahlenden und absorbierenden Gase der Chromosphäre. Sie muss wahrscheinlich erklärt werden durch lokale Differenzen von Temperatur, Druck und Dichte, hervorgerufen durch Konvektionsströmungen und Turbulenzen in den Gasmassen. Nach dieser Auffassung bedeuten die hellen Flocken Störungen in der Chromosphäre oder zum mindesten etwas, das nicht immer da ist, ähnlich wie die wechselnden sog. Sonnenflecken in der photosphärischen Schicht, in der die bleibende Struktur auch eine und zwar feinere Granulation ist.

Gelegentlich zeigen Spektroheliogramme in den hellen Flockenherden noch sehr auffallende besondere Störungen, sog. chromosphärische Eruptionen (Abb. 8, Tafel I, und Abb. 11, Tafel IV). In einem normalen Flockenherd entstehen plötzlich abnormal helle Punkte, kleine Flächen oder Streifen, die rasch veränderlich sind, oft grosse Dopplereffekte zeigen und nach einigen Minuten bis rund zwei Stunden wieder verschwinden oder auf normale Helligkeit zurückgehen.

Der Spektroheliograph ist aber nicht der rechte Apparat zur Verfolgung der Erscheinungen chromosphärischer Eruptionen. Der

Abb. 12. Das Spektrohelioskop



Vorgang geht zu rasch vor sich. Grosse Änderungen können schon in ein bis zwei Minuten auftreten und ein Spektroheliogramm erfordert, wenn der erste Spalt des Spektroheliographen das ganze Sonnenscheibchen in der Brennebene des Bildspiegels oder Objektivs abtasten soll, mindestens drei bis vier Minuten Belichtung. Zur Beobachtung schnell vor sich gehender Erscheinungen der Chromosphäre eignet sich besser das Spektrohelioskop. Das ist ein Apparat ähnlich dem Spektroheliographen, mit dem man aber die chromosphärischen Erscheinungen visuell monochromatisch beobachten kann. Merkwürdigerweise hat man dreissig Jahre mit dem Spektroheliographen photographiert, ohne dass es trotz wiederholten Versuchen gelungen wäre, die ganze Chromosphäre über der scheinbaren Sonnenscheibe auch visuell monochromatisch zu beobachten. Erst vor gut zehn Jahren baute HALE nach seinem Rücktritt von der Leitung der Mount Wilson-Sternwarte sein erstes Spektrohelioskop. Abbildung 12 erklärt schematisch die Einrichtung des Apparates.

Vor dem Spalt S_1 ist das Brennpunktsbild der Sonne, entworfen durch eine Linse oder einen Hohlspiegel, von längerer Brennweite. S_1 liegt in der Brennebene des kleinen Hohlspiegels Sp_1 . Von Sp_1

gehen die Strahlen parallel weg zum Gitter G , das die spektrale Zerlegung hervorruft und so geneigt ist, dass das zerlegte Licht auf den Bildhohlspiegel Sp_2 fällt. Dieser entwirft in der Höhe und in der Entfernung des Monochromatorspaltes S_2 vor demselben ein Bild des Spektrums. Durch Drehung des Gitters G kann man eine Fraunhofersche Linie, z. B. H_α des Wasserstoffs, auf S_2 bringen. Dann kommt durch S_2 und das Okular O nur Licht von der ausgeblendeten Linie in das Auge. Denkt man sich den ganzen Apparat rechts in der Richtung des Doppelpfeils sehr rasch hin und her bewegt, so überstreicht der Spalt S_1 in schneller Folge einen Teil des Sonnenbildes und das Auge beobachtet durch das Okular O ein monochromatisches Bild des von S_1 überstrichenen Gebietes. Praktisch ist es natürlich nicht gut möglich, dem langen Apparatenteil rechts diese oscillierende Bewegung zu geben. Es ist auch nicht nötig. Man kann dafür einfach die beiden Spalten diese Oscillation ausführen lassen, was technisch leicht ausführbar ist, wenn man sie auf einen gemeinsamen kleinen Balken anbringt.

Im Strahlengang zwischen Sp_2 und S_2 nahe bei S_2 steht noch eine kleine, um eine vertikale Achse messbar verdrehbare planparallele Glasplatte. HALE nennt sie den Linienschieber. Durch Drehung der Platte lässt sich das Spektrum um messbare kleine Beträge verschieben. Es ist also möglich, mit dem Linienschieber den Wellenlängenbereich, in dem beobachtet wird, schnell zu etwas zu ändern, so dass der Monochromatorspalt in der Liniennachse und auf den Flügeln der Linie gestellt werden kann. Mit dem Linienschieber können aber auch leicht Dopplereffekte gemessen werden, was wichtig ist zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen in den chromosphärischen Eruptionen und eruptiven Protuberanzen. Die Skala am Linienschieber kann so geeicht werden, dass man direkt Geschwindigkeiten im Visionsradius in km/sec ablesen kann.

Ich möchte kurz berichten, wie wir in Zürich mit diesem neuen Apparat arbeiten. Einmal zeichnen wir jeden günstigen Tag (im Durchschnitt waren es 235 Tage pro Jahr in den letzten drei Jahren) in einem vorgedruckten Sonnenkreis alle im Licht der roten Wasserstofflinie beobachteten hellen Flockenherde, die scheinbar dunkeln Protuberanzen auf der Chromosphärenscheibe und die hellen Randprotuberanzen und charakterisieren die veränderliche Tätigkeit der Sonne für diese Erscheinungen für jeden Tag durch eine Zahl in einer bestimmten Skala. Eine kleine Anzahl von Sternwarten macht

mit dem Spektroheliographen tägliche Chromosphärenaufnahmen in der Strahlung der Mitte der Linie H_α des Wasserstoffs und dem Bereich K_{2-3} der Linie K des ionisierten Kalziums und bestimmt die täglichen Tätigkeitszahlen aus den erhaltenen Spektroheliogrammen. Unsere eidgenössische Sternwarte sammelt diese Zahlen und veröffentlicht sie zusammen mit den Indexzahlen für die Flecken-tätigkeit der Sonne und für die wechselnde Intensität der ultra-violetten Strahlung in einem unter den Auspizien der Internationalen Astronomischen Union herausgegebenen Bulletin für tägliche Charakterzahlen der Sonnenerscheinungen. Dieses Vierteljahrs-bulletin wird hauptsächlich gebraucht für Untersuchungen über Zusammenhänge von terrestrischen mit solaren Erscheinungen. Die gewonnenen Zahlen zeigen, dass alle chromosphärischen Erscheinungen auch dem bekannten elfjährigen Zyklus der Sonnenflecken-tätigkeit folgen.

Interessanter als diese täglichen Bestandesaufnahmen sind natürlich die Beobachtungen der Eruptionsvorgänge, nämlich der hellen eruptiven Ausbrüche und der eruptiven Protuberanzen am Rand und auf der Chromosphärenscheibe (eruptive dunkle Flocken). Normalerweise beobachten wir sie im Spektrohelioskop in der Strahlung der Linie H_α des Wasserstoffs. Mit Erfolg haben wir aber auch schon in den Linien D_1 und D_2 des Natriums, D_3 des Heliums, b des Magnesiums und H_β des Wasserstoffs beobachtet. Die Linien H und K des Kalziums, die für spektroheliographische Aufnahmen so wichtig sind, scheiden für visuelle Beobachtungen aus, da sie schon im ultravioletten Teil des Spektrums liegen.

Die eruptiven Erscheinungen treten fast ausschliesslich nur innerhalb von Fleckengruppen auf. Zu den Minimazeiten im elf-jährigen Zyklus sind sie sehr selten. In der gegenwärtig äusserst fleckenreichen Periode sind sie tägliche Erscheinungen. Ich zeige an einigen Beispielen, die vom Assistenten unserer Sternwarte, Herrn Dr. MAX WALDMEIER, beobachtet und beschrieben wurden, wie aufschlussreich und vielversprechend die Verfolgung dieser Erscheinungen im Spektrohelioskop sind.

Zuerst beschreibe ich eine am 14. Februar 1936 in Zürich beobachtete helle Eruption, die von dunkeln, eruptiven Flocken begleitet war, wie das oft der Fall ist. Am 7. Februar 1936 wurde am Ostrand der Sonne durch Rotation eine grosse Fleckengruppe sichtbar, die sehr aktiv war. Vom 7. bis 14. Februar sind in ihr

18 Eruptionen beobachtet worden. Als unser Beobachter am 14. Februar um 13.40 Uhr M. E. Z. die Überwachung der Sonne begann, war in dieser Gruppe gerade eine ausserordentlich helle Eruption zwischen den beiden Hauptflecken im Entstehen. Um 13.42 Uhr erreichte sie die grösste Helligkeit und nahm dann nachher langsam wieder ab. Abb. 13, Tafel IV zeigt die Eruption um 13.45 Uhr. Die Reproduktion vermag aber die Helligkeit nicht richtig wiederzugeben. Um 14.12 Uhr ist die Eruption vorbei und alle Wasserstofflocken haben wieder ihre normale Helligkeit. Die helle Eruption zeigte keinen Dopplereffekt und wurde in der Mitte der Linie H_{α} beobachtet. Um 13.48 Uhr wurden im Bereiche der Eruption zwei sehr intensive dunkle Flocken (eruptive Protuberanzen) entdeckt. Sie wiesen so grosse Dopplereffekte auf, dass bei Nullstellung des Linienschiebers überhaupt nichts von ihnen zu sehen war. Abb. 13 *b*, 13 *c* und 13 *d* zeigen diese Flocken, und zwar Abb. 13 *b* die gegen die Sonnenoberfläche absteigende Flocke bei einer Geschwindigkeit im Visionsradius von 110 km/sec vom Beobachter weg und Abb. 13 *c* und 13 *d* die aufsteigende Flocke mit einer ziemlich einheitlichen Radialgeschwindigkeit von 150 km/sec gegen die Erde zu. Bei diesem grossen Dopplereffekt ist der Monochromatorspalt schon ausserhalb der H_{α} -Linie für ungestörte Stellen, so dass die Bilder nicht mehr die Struktur der Chromosphäre, sondern der Photosphäre zeigen. Deswegen treten auf ihnen auch die Flecken so stark hervor. Die absteigende Flocke zeigte rasche Formänderungen. Die aufsteigende Flocke behielt im wesentlichen ihre Form bei. Aus den Bildern Abb. 13 *c* und 13 *d* ergibt sich aus der Verschiebung der Flocke eine Geschwindigkeit von 45 km/sec senkrecht zum Visionsradius. Beide Geschwindigkeitskomponenten zusammen zeigen, dass diese Flocke sehr steil von der Sonnenoberfläche aufstieg. Um 14.18 Uhr waren die eruptiven dunklen Flocken verschwunden.

Ein zweites Beispiel wähle ich aus einer diesen Sommer veröffentlichten Arbeit unseres Assistenten Dr. WALDMEIER über chromosphärische Vorgänge bei der Entstehung von Sonnenflecken. Abb. 14 zeigt eine kleine Fleckengruppe, die am Morgen des 12. Juni 1936 auf der Ostseite entstand. Um 7.30 Uhr M. E. Z. war an der betreffenden Stelle noch kein Fleck; um 8 Uhr war einer vorhanden und um 8.15 Uhr waren es zwei. Die bipolare Gruppe hat sich in den folgenden Tagen zu einer Gruppe vieler kleiner Flecke entwickelt. Abb. 14 stellt die Gruppe für die drei ersten Beobach-

tungstage dar. Die schwarzen Areale sind dunkle Flocken, die schraffierten sehr helle Wasserstoffflocken. Die normalen hellen Flocken sind nicht eingezeichnet. Vom Tag vorher liegt keine Spektrohelioskopbeobachtung vor. Am 12. Juni war um 8 Uhr M. E. Z. der Raum zwischen den Hauptflecken der bipolaren Gruppe von einer sehr hellen Flocke erfüllt. Die Flecken wurden im Laufe des Tages grösser. Während des ganzen Nachmittags bot die Gruppe im Spektrohelioskop den Anblick, wie er in Abb. 14 dargestellt ist. Die helle Flocke, die am Morgen die ganze Gruppe ausfüllte, ist nur noch um den vorangehenden, zuletzt entstandenen Fleck sichtbar.

Eine dunkle eruptive Flocke (Protuberanz) verband die beiden Flecken. Sie zeigte Dopplereffekte. Die dunkle Flocke, wie sie im Bild gezeichnet ist, stellt das Integralbild über alle Schieberstellungen dar. Der Pfeil gibt die Richtung an, in der sich die Flocke verschiebt, wenn der Monochromatorsplatt von kleineren zu grösseren Wellenlängen verschoben wird. Am vorangehenden Fleck hat die Flocke keine Eigenbewegung im Visionsradius: in Richtung zum hinteren Fleck nimmt die Geschwindigkeit im Visionsradius, und zwar in der Richtung vom Beobachter weg,

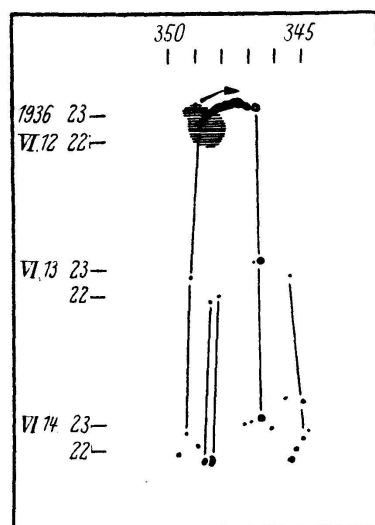


Abb. 14

gegen die Sonnenoberfläche hin, beständig zu und erreicht in diesem Fleck ihr Maximum von 74 km/sec. Die Deutung dieser Dopplereffekte ist einfach: Die Massen strömen vom vorangehenden Fleck aus, beschreiben einen Bogen und münden im hinteren Fleck. Wir haben es mit einer bogenförmigen eruptiven Protuberanz zu tun. Die Asymmetrie in den beobachteten Dopplerverschiebungen rührt davon her, dass sich die Gruppe auf der Ostseite und nicht in der Mitte der Sonnenscheibe befand. Am folgenden Tag waren keine dunkeln Flocken mehr zu sehen und die Gruppe war nur noch von hellen Flocken normaler Helligkeit erfüllt, die mit dem Abnehmen der Fleckentätigkeit an dieser Stelle schwächer wurden.

Ähnliche Beispiele sind in Zürich eine grössere Anzahl beobachtet worden. Es scheint aus ihnen sicher hervorzugehen, dass mit der Entstehung von Fleckengruppen charakteristische chromosphärische Vorgänge verbunden sind, nämlich übernormale helle

Flocken und bogenförmige dunkle Flocken mit Dopplereffekt. Die hellen Flocken entstehen, bevor der Fleck sichtbar wird, und verschwinden spätestens nach einem Tag wieder. Die dunklen Flocken treten später auf. Die Materie der Flocken beschreibt von der Chromosphäre aufsteigend eine bogenförmige Bahn und kehrt zur Chromosphäre zurück. Die Strömung geht von der Stelle des jüngeren zum älteren Fleck. Diese Begleiterscheinungen der Fleckenbildung gelten zunächst nur für die erste Entwicklungsphase von kleinen Fleckengruppen. In grösseren Gruppen werden sie auch

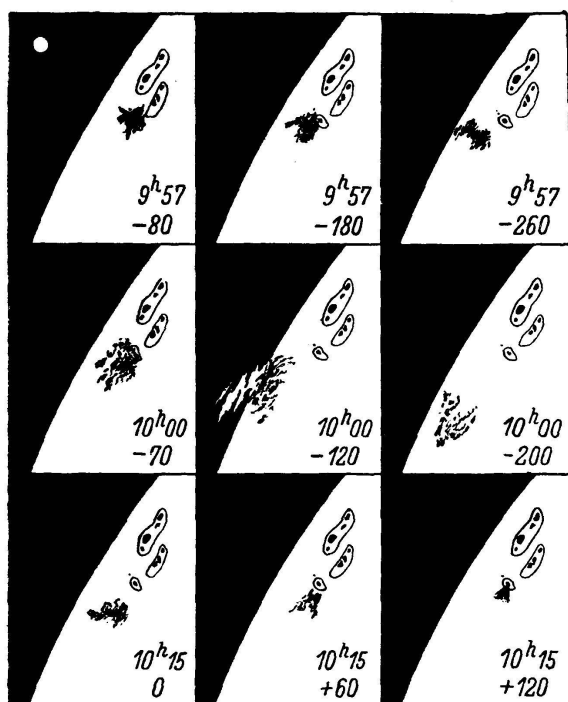


Abb. 15
Eruptive dunkle Wasserstoff-Flocke
in der Nähe des Ostrandes
(Beobachtung am Zürcher Spektrohelioskop)

während der späteren Entwicklung beobachtet, aber in verwickelteren Formen. Dabei scheint aber die Strömungsregel meistens erfüllt.

Beim Spektrohelioskop auf unserer Sternwarte können wir, wenn es wünschenswert ist, auch während der Verfolgung einer Eruptionerscheinung sehr rasch von visueller zu photographischer Beobachtung übergehen. Die so erhaltenen kleinen Spektroheliogramme sollen nur Form, Grösse und Position der Flocken erkennen lassen. Die Einzelheiten der Struktur halten wir durch zeichnerische Skizzen fest. Mit den Aufnahmen am Spektroheliographen kann man diese kleinen Bilder natürlich nicht vergleichen. Das letzte Beispiel, das ich hier besprechen will, ist aus der Zusammenarbeit von Photographie und Zeichnung entstanden.

Am 16. Juni 1936 wurde am Ostrand eine Fleckengruppe sichtbar, die zwei Tage ausserordentlich aktiv blieb. Abb. 15 stellt

eine Phase aus der eruptiven Tätigkeit in dieser Gruppe dar. Um 9.56 Uhr entstand zwischen den drei Hofflecken eine runde helle Eruptionsfläche, die 9.57 Uhr am hellsten war und etwa 10.10 Uhr erlosch. Beim Ausbruch der hellen Eruption bildete sich auch eine dunkle Flocke. Die oberen drei Bilder zeigen diese Flocke bei verschiedenen Radialgeschwindigkeiten. Die mittleren drei Bilder zeigen die Flocke drei Minuten später. Sie hat sich in dieser Zeit stark nach links verschoben, ragt zum Teil über den Sonnenrand hinaus und erscheint dort als helle Randprotuberanz. Die Flocke zeigt sich diffuser und schwächer; vielleicht ist ein Teil von der Sonne weggeworfen. Andere Teile sind nach einiger Zeit wieder auf die Sonne zurückgefallen. Die Zahlen unter den Beobachtungszeiten geben die durch den Linienschieber gemessenen Geschwindigkeiten in Blickrichtung, plus vom Beobachter weg gegen die Sonnenoberfläche zu, minus auf den Beobachter zu. Die drei unteren Bilder zeigen, wie Teile der Flocke mit wachsender Geschwindigkeit niederstürzen und in einem Fleck verschwinden. Der kleine Kreis links oben im Bild stellt zum Vergleich die Grösse der Erde dar.

Interessant ist die Frage des Einflusses der chromosphärischen Eruptionen auf irdische Erscheinungen, auf die ich zum Schluss noch hinweisen möchte. Nach den bisherigen ersten Erfahrungen scheinen grössere chromosphärische Eruptionen folgende geophysikalische Wirkungen zu haben:

1. Kleine plötzliche Änderungen der erdmagnetischen Elemente (Horizontal- und Vertikalkomponente und Deklination), die nichts zu tun haben mit den schon lange bekannten grossen Störungen, den sog. erdmagnetischen Stürmen. Sie treten nur wenige Minuten später auf als die Eruptionen und dauern solange wie diese. Sie zeigen sich als kleine Knicks (Abb. 16) in den Diagrammen, die die zeitlichen Änderungen der erdmagnetischen Elemente registrieren, und sie fallen nur auf, wenn das Magnetogramm einen ruhigen Verlauf zeigt.
2. Grosse erdmagnetische Störungen (magnetische Stürme) und Polarlichter etwas mehr als einen Tag nach der Sonneneruption auftretend und oft mehrere Tage dauernd.
3. Störungen der Ionosphäre der irdischen Atmosphäre. Diese Störung ist vor zwei Jahren vom amerikanischen Geophysiker DELLINGER entdeckt worden (Dellingereffekt). Auf der Existenz der Ionosphäre, d. h. einer elektrisch leitenden Schicht

in etwa 100 km Höhe in der Erdatmosphäre, beruht der transozeanische radiotelegraphische Verkehr auf kurzen Wellen. Die Erfahrung zeigt, dass sehr oft bei Beginn einer bedeutenderen hellen chromosphärischen Eruption oder eher einige Minuten später, ein totales Verschwinden (Fading) der kurzen Wellen (10 bis 50 m) im Empfangsapparat eintritt (Abb. 16). Das Aussetzen der Wellen dauert solange wie die Eruption. Das Comité français de Radiotélégraphie scientifique veröffentlicht regelmässig Listen der beobachteten radiotelegraphischen Störungen. Bei dem fast ununterbrochenen radiotelegraphischen

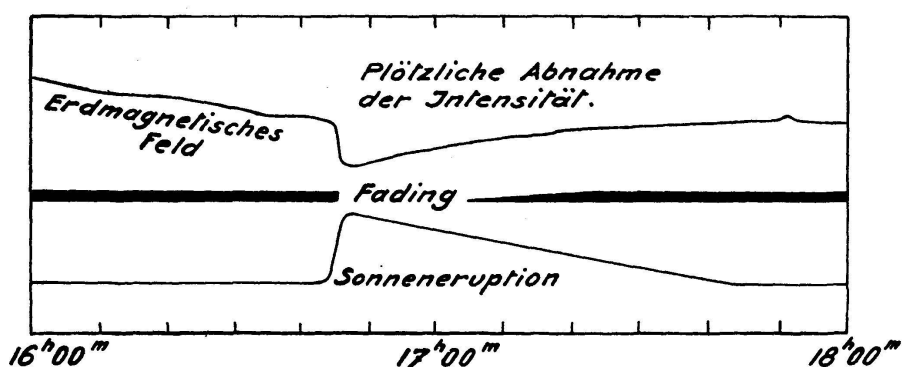


Abb. 16
Störung des erdmagnetischen Feldes und Verschwinden der transozeanischen kurzwelligen Radiosignale zur Zeit einer grossen chromosphärischen Eruption am 8. April 1936

Verkehr über den Atlantischen Ozean dürfte wenigstens für diese Strecke die Liste nahezu lückenlos sein, etwas weniger sicher vielleicht über den Stillen Ozean. Die Überwachung der Sonne mit dem Spektrohelioskop nach chromosphärischen Eruptionen geschieht gegenwärtig nach einem bestimmten Stundenplan auf zwölf Stationen in Europa, Amerika, Asien und Australien. Die mittlere tägliche Überwachungszeit ist 9 bis 10 Stunden. In Zürich sitzt jeden einigermaßen günstigen Tag ein Beobachter dreimal je eine halbe Stunde am Apparat. Die Eruptionen werden von Herrn D'AZAMBUJA vom Astrophysikalischen Observatorium in Meudon gesammelt, nach bestimmten Gesichtspunkten geordnet und in dem von unserer eidgenössischen Sternwarte herausgegebenen „Bulletin for Character Figures of Solar Phenomena“ veröffentlicht.

Einer noch unveröffentlichten kleinen Arbeit von Assistent WALDMEIER über ionosphärische Störungen solaren Ursprungs entnehme ich, dass im Jahre 1936 3 % der Eruptionen der Intensität 1 (kleine Eruption), 14 % der Eruptionen der Intensität 2 und 43 %

der Eruptionen der Intensität 3 (sehr grosse Eruption) von Fadings begleitet waren. Es löst also sicher nicht jede grössere Eruption ein Fading aus. Wahrscheinlich sind die Bedingungen in den ionosphärischen Schichten nicht immer so, dass ein auffallendes Fading eintreten kann.

Die umgekehrte Frage, ob alle Fadings solaren Ursprungs sind, ist weniger sicher zu beantworten, da die Überwachung der Sonne nicht lückenlos ist. Von den 124 Fadings des Jahres 1936 koinzidieren 44 mit Eruptionen. Die durchschnittliche tägliche Überwachungsdauer war 10 Stunden, so dass bei ununterbrochener Überwachung 106 Koinzidenten von Fadings und Eruptionen zu erwarten wären. Diese Überlegung zeigt, dass die meisten und wahrscheinlich sogar alle Fadings solaren Ursprungs sind.

Die Lage einer Eruption auf der Sonnenscheibe scheint nicht von Einfluss zu sein für das Eintreffen eines Fadings, während nach bisheriger Erfahrung grosse magnetische Stürme häufiger sind, wenn aktive Sonnenfleckengruppen in der Nähe der Mitte der Sonnenscheibe sind. Dieser Umstand weist darauf hin, dass die radiotelegraphischen Störungen durch eine Wellenstrahlung und die erdmagnetischen Stürme durch radial von der Sonne ausgeworfene elektrisch geladene Korpuskeln hervorgerufen sein könnten.

Allererste Versuche, einen Einfluss chromosphärischer Eruptionen auf andere terrestrische Erscheinungen aufzufinden, liegen vor. Ihre Ergebnisse sind noch unsicher. Vorläufig scheinen die hohen ionosphärischen Schichten das feinste Reagens zu sein auf kosmische Einflüsse.

Ich bin zu Ende mit meinen Ausführungen. Es scheint mir etwas ganz Besonderes, wie man im Laufe des Aufstieges der jungen Astrophysik immer besser lernte, in einer schmalen, stark durchsichtigen, strahlenden und absorbierenden Schicht über der sichtbaren Sonnenscheibe Erscheinungen wahrzunehmen, welche der Beobachtung mit dem gewöhnlichen Fernrohr ganz verschlossen sind. Aus diesem Grunde wählte ich die Erscheinungen der Chromosphäre der Sonne als Gegenstand dieses Vortrages. Heute liegt, wie gezeigt wurde, ein reiches, mit dem Spektroheliograph gewonnenes Beobachtungsmaterial vor. Mit dem Spektrohelioskop werden weiter die rasch veränderlichen eruptiven Vorgänge und besondere Bewegungserscheinungen untersucht werden. Was leider noch fehlt, sind wirklich befriedigende physikalische Deutungen für die beobachteten Erscheinungen.

La forme de la plante

Quelques facteurs chimiques de sa genèse et de son déterminisme

Par

W.-H. SCHOPFER (Berne)

Institut botanique

Les raisons qui, étant vues de loin, paraissent borner notre vue, mais quand on y est arrivé, on commence à voir encore au delà.

Pascal.

Le biologiste inspiré par CLAUDE BERNARD, cherchant à mettre en évidence les phénomènes de la vie, communs aux animaux et aux plantes n'est en aucune partie aussi embarrassé que lorsqu'il s'agit de manifestations morphologiques ou morphogénétiques.

Personne ne met en doute l'identité des phénomènes physiologiques fondamentaux de la vie cellulaire dans les deux règnes „le foie fait du sucre comme le fruit, la levure s'endort comme l'homme sous l'influence de vapeurs éthérées“ (P. BERT). Mais, lorsqu'il s'agit d'une question de forme, les divergences apparentes s'imposent à l'esprit et l'on perd parfois de vue cette réconfortante certitude d'une unité de la vie dans les deux règnes; il semble que l'unité physiologique fondamentale est masquée par la diversité des morphologies.

En négligeant les différences d'ordre purement quantitatif (sensibilité, mouvement), on arrive à ramener les caractères généraux des deux règnes à quelques données fondamentales: le végétal, pourvu de chlorophylle, est doué d'un extraordinaire pouvoir de synthèse, qui manque à l'animal, l'autotrophie du premier s'opposant à l'hétérotrophie du second. Au niveau de la cellule, la

membrane de cellulose, dont la presque totalité des cellules végétales sont pourvues, impose à la plante une rigidité à laquelle l'animal échappe.

Du point de vue du développement, bien que la plante conserve d'une manière stricte sa forme spécifique, une labilité se manifeste qui parfois étonne. Dès la formation de l'embryon dans la graine, une polarité tige-racine se manifeste. Malgré la présence de tissus non différenciés, de cellules à caractère embryonnaire, les points végétatifs des feuilles et des racines secondaires sont déjà formés et visibles. En dépit de ceci et jusque très tard dans leur développement, beaucoup de plantes conservent la propriété de dédifférencier leurs tissus et de former — dans la nature — jusque sur les rameaux les plus élevés et les pétioles foliaires les plus éloignés du pôle inférieure de la plante, des racines caractéristiques. Sur l'axe hypocotylé et sur la racine, peuvent apparaître des bourgeons qui, s'ils n'arrivent pas à un complet développement, n'en sont pas moins une preuve de cette labilité, de cette pluripotentialité des tissus apparemment différenciés, ou, si l'on veut, de cette étonnante persistance de vitalité des cellules embryonnaires qui durant toute la vie, peuvent manifester leur activité. Qu'il s'agisse d'une dédifférenciation de tissus différenciés ou d'une persistance d'ilôts de cellules embryonnaires, le résultat est le même. Le pouvoir de régénération de certains végétaux confirme cette impression.

La localisation en des points déterminés des zones d'accroissement (points végétatifs terminaux, cambium) confère encore à la morphogenèse végétale un caractère bien particulier.

L'absence d'un milieu intérieur circulant autonome, susceptible d'une régulation aussi précise que c'est le cas pour l'animal (constitution chimique et concentration moléculaire), la difficulté que l'on éprouve à produire dans une plante des réactions sérologiques spécifiques (GÄUMANN) contribue à donner l'impression, en réalité fausse, d'un manque de personnalité physiologique de la plante. On peut à bon droit s'étonner, lorsqu'on envisage le problème superficiellement, que malgré ces caractères purement négatifs, la spécificité de la forme soit conservée avec une telle rigueur.

Ces quelques données suffisent et constituent les bases du problème que je me propose de discuter ici.

Le phénomène hormonal

C'est un fait aujourd'hui classique que la cellule végétale, et par là la plante tout entière, peut échapper à la servitude imposée par sa membrane de cellulose.

Des substances présentes dans tout le règne végétal, formées même par les microorganismes, surtout dans les organes jeunes et les points végétatifs, sont là, qui vont modifier la plasticité de la membrane, et permettre, sous l'influence de la turgescence, une modification de la forme, un allongement de la cellule.

Les substances en question : auxine *a* et *b*, hétérauxine (acide β -indolylacétique, obtenu par synthèse), ainsi qu'un certain nombre de dérivés et de produits de substitution, sont capables, à l'état de trace, d'intervenir ici (WENT); leur constitution chimique est connue (KÖGL).

L'expérience classique de la courbure de la coléoptile d'avoine (WENT), qui peut être reproduite avec d'autres plantes, et repose sur une action asymétrique de la substance active et par conséquent sur un allongement asymétrique de la coléoptile conduisant à une courbure, permet de se rendre compte de l'extraordinaire activité du produit en question : $\frac{1}{50.000.000}$ de mg provoque déjà, dans des conditions expérimentales définies, une courbure de 10° .

Cette dose constitue l'unité biologique utilisée partout aujourd'hui. Ces substances sont non seulement synthétisées par les points végétatifs (ou activées dans ceux-ci), mais se retrouvent dans le bois, dans les milieux de culture de certains champignons, de bactéries, dans l'urine. De l'extrémité de la coléoptile, la substance circule dans le sens basipète et exerce sur son passage son action spécifique. Une nouvelle explication se fait jour (POHL) : la substance serait simplement activée dans les pointes de coléoptile; elle se trouverait en réserve dans la graine, et, après son transport acropète dans les extrémités, subirait la transformation qui la rendrait active.

On admet (BONNER) que la modification de plasticité de la membrane repose sur une action de la substance sur les points de jonction des micelles constituant le revêtement de cellulose. Si l'on se rappelle que ces substances interviennent non seulement dans l'allongement de la membrane et la croissance, mais dans certains tropismes, que, circulant en direction basipète, elles inhibent le développement complet des bourgeons placés immédiatement au-

dessous des extrémités de rameaux, qu'elles conditionnent la longueur relative des pétioles foliaires, on admettra que la morphogenèse de la plante et le déterminisme de sa structure apparaissent, dans leur causalité, d'une manière singulièrement plus claire.

On serait presque tenté d'envisager le problème du point de vue strictement chimique et d'oublier le substrat sur lequel une action s'exerce. L'hétérauxine agit en accélérant l'allongement de la tige; utilisée aux mêmes concentrations, elle inhibe celui de la racine; les réactions des substrats sont donc spécifiques; cela apparaît encore plus nettement lorsqu'on observe (GEIGER) qu'à une dilution extrême ($2,86.10^{-11}$), l'hétérauxine agit réellement d'une manière positive sur la racine coupée de maïs en milieu de culture liquide et en favorisant nettement l'allongement.

On voit donc que le problème n'est pas simplement d'ordre physico-chimique, mais que les potentialités et les réceptivités du substrat, données et définies, participent au déterminisme des réactions.

Une telle substance peut, sans contestations, être qualifiée d'hormone: elle agit d'une manière spécifique sur une structure, sur une forme. Initialement, elle est produite à l'intérieur de l'organisme sur lequel elle doit agir.

L'accroissement du végétal en épaisseur est l'un des phénomènes grâce auxquels le caractère particulier de la morphogenèse végétale est le mieux mis en évidence. Cet accroissement, dont le mécanisme, nous est bien connu depuis les travaux de JOST et de JACCARD, s'effectue pendant une durée indéterminée, centaines, voir milliers d'années. Il repose sur l'activité de quelques couches de cellules, le cambium, gardant indéfiniment son caractère embryonnaire. La raison de la périodicité de l'activité de cambium qui s'exprime par les couches annuelles est pendant longtemps restée obscure. Le fait qu'elle est calquée sur le rythme des saisons n'est pas une explication suffisante et ne nous explique en rien le mécanisme intime du phénomène.

On sait que le grand développement du bois à cellules larges coïncide avec le printemps, c. à d. avec l'épanouissement des bourgeons. Il existe, mise en évidence depuis longtemps, une relation de causalité, entre les deux phénomènes. Or, on découvre que la quantité d'hormone est plus grande à l'extrémité du rameau qu'à sa base

(comme c'est le cas pour la coléoptile d'avoine), qu'elle diminue au cours de l'année (AVERY, ZIMMERMANN, SÖDING) que la formation du bois au printemps est surtout active immédiatement sous le bourgeon et que de là, comme il est normal de l'attendre, elle va diminuant en direction basipète (AVERY). On peut donc admettre que la relation entre les deux phénomènes est basée sur un courant matériel, qui correspond au stimulant depuis longtemps admis par la physiologie classique. Entre la production d'hormone au sommet du rameau et l'activité du cambium, la relation qui existe doit avoir une base chimique.

Nous en avons une preuve (SNOW), lorsque, chez une jeune plantule de *Pisum* nous sectionnons une partie de la tige, interrompant ainsi le courant basipète partant de la feuille: lorsque la partie de la tige, séparée longitudinalement, reste en contact avec le sommet, on peut y observer une activité cambiale normale; lorsqu'elle est séparée du sommet, en contact avec la base, les cellules du cambium ne se divisent plus; si, par une expérience croisée on réunit la partie inférieure de la plantule de *Pisum*, à activité ralentie, avec la partie supérieure d'autre espèce, le cambium de la première, réuni artificiellement avec le sommet de la seconde, riche en hormone, se divise de nouveau normalement. Si, enfin, on se sert de solutions pures d'hormones, on peut encore déclancher les divisions après les avoir interrompues.

Il s'agit là de divisions cellulaires et non plus d'allongement de la cellule. Peut-on admettre que la même substance dont l'action spécifique sur la plasticité de la membrane est connue, soit en même temps capable d'accélérer la division des cellules?

Depuis longtemps, on parle de substances, d'hormones conditionnant les divisions cellulaires (HABERLANDT). De nombreuses expériences ont montré que diverses substances étaient capables de déclancher des divisions cellulaires dans des tissus anormaux et pouvaient, par exemple, conduire à la formation de cals. LAIBACH crut pouvoir parler de méristines, substances qui auraient une action spécifique sur les divisions cellulaires des méristèmes, par conséquent différentes des auxines dans leur action. Il faut momentanément renoncer à ce concept du fait que l'hétérauxine pure, et non seulement une auxine impure ou suspecte de contenir des impuretés, peut être rendue responsable des divisions cellulaires observées. Les substances spécifiques de la division cellulaire ne sont donc pas connues.

Il faut cependant remarquer que lorsque l'hétérauxine agit artificiellement c'est à des doses de beaucoup supérieures à celles qui sont présentes dans la nature. Lorsque SÖDING injecte de l'hétérauxine dans le cambium d'arbres pour en observer les effets, c'est également à forte concentration; il trouve effectivement que dans les régions profondes, la formation du bois est accélérée.

En ce qui concerne la division cellulaire, nous nous trouvons donc en présence des faits suivants. Des substances diverses peuvent déclancher la division cellulaire et conduire à la formation de tissus anormaux, cals; l'hétérauxine se trouve parmi ces substances; son action s'exerce particulièrement sur certains tissus, parenchyme, p. ex.; les méristèmes primaires ne semblent pas spécialement sensibles. Il s'agit de déclanchements artificiels avec de l'hétérauxine introduite dans la plante.

C'est la croissance en épaisseur secondaire *normale* qui nous intéresse particulièrement. Constatant le parallélisme qui existe entre l'éclosion du bourgeon, la formation d'une hormone agissant comme l'auxine et le déclanchement de l'activité secondaire du cambium, d'une part, et d'autre part, les phénomènes produits, sous l'action « artificielle » de l'hétérauxine, nous sommes en droit de supposer que cette hormone intervient dans l'activité du cambium, mais, en aucun cas, nous n'avons la preuve qu'il s'agisse d'une action primaire: nous devons bien plutôt croire qu'elle agit comme une manière d'excitant (SÖDING), déclanchant la chaîne de réactions liée à la division cellulaire. La division cellulaire ne comprend pas seulement une production de cellules, mais aussi une augmentation de la masse de matière vivante et l'on est en droit de supposer que plusieurs substances, hormones, vitamines, interviennent ici.

Remarquons encore que dans la chaîne de causes à effet réunissant les deux phénomènes — épanouissement du bourgeon, formation d'hormone, activité du cambium — un anneau nous paraît plus visible; le problème est loin d'être résolu; il est simplement déplacé; il reste à expliquer la causalité du phénomène: production d'hormone qui devient cause immédiate.

Nous parlions de la faculté de la plante de former naturellement des racines, sur le parcours ou à l'extrémité de la tige; nous y voyons une preuve de la labilité du végétal. Les hormones dont nous venons de décrire quelques caractères entrent de nouveau en jeu.

Une plante intacte fournit les mêmes résultats qu'une bouture traitée; en appliquant sur la tige non lésée d'un *Coleus* une pâte contenant l'hormone ou simplement en badigeonnant la surface de la tige avec une solution d'hormone, on observe la formation de racines adventives (LAIBACH). Sur la coupe, on peut s'assurer de leur formation endogène, à partir du cylindre central. Si la pâte est appliquée sur la nervure centrale d'une feuille l'hormone absorbée circule et la genèse des racines est déclanchée un peu plus bas, sur le pétiole foliaire ou sur la tige.

On a montré qu'une bouture ne forme normalement des racines que lorsqu'un bourgeon foliaire ou une feuille est présente; si ce n'est pas le cas, l'apparition des racines est ralentie ou complètement inhibée. La feuille normale, présente à l'extrémité de la bouture, peut être remplacée par une feuille greffée ou mieux encore, par une application d'hormone (hétérauxine) au pôle supérieur de la bouture. C'est bien la preuve que la feuille produit des substances rhizogènes, capables, à faible dose, de déclancher la formation des racines; par un traitement approprié — injection dans les tissus de diverses substances: acide β indolylacétique, acide naphthalénacétique, acide indolylbutyrique — on peut stimuler également la formation des racines (ZIMMERMANN et WILCOXON); plus simplement, en ajoutant au sol une solution d'acide β -indolylacétique ou une substance analogue, on voit apparaître des racines en quantité sur les tiges de *Nicotiana* et de *Solanum Lycopersicum* (HITCHCOCK et ZIMMERMANN). Les premières recherches approfondies exécutées dans ce domaine (BOUILLENNE) avaient amené leurs auteurs à conclure à l'existence de substances rhizogènes spécifiques (rhizocaline). Cette spécificité n'est pas démontrée; il semble bien plutôt que l'hétérauxine, et la «rhizocaline», substance formatrice de racines, soient identiques (THIMANN).

Si réellement des substances rhizogènes spécifiques doivent exister, il faut admettre que leur action peut être substituée par celle d'une auxine, dont on sait qu'elle se forme à l'extrémité des axes et dans les feuilles.

Il ne s'agit d'ailleurs pas d'une action spécifique d'une substance déterminée: un nombre appréciable de composés sont capables de déclancher la genèse des racines.

La question — grosse d'importance — se pose de savoir de quelle manière agit l'hormone rhizogène, si son intervention est primaire.

Les auxines agissent d'une manière spécifique sur la plasticité des membranes. Le phénomène est ici infiniment plus complexe : il s'agit d'une formation de cellules, d'une augmentation de l'assimilation, de la formation d'un organe, de la naissance d'une organisation complexe avec corrélation entre les diverses parties. Peut-on attribuer tout ceci à l'action d'une substance ? Il nous semble plus logique et prudent d'admettre que l'hormone en question ici produit une espèce d'excitation, plus exactement qu'elle constitue le premier élément d'une chaîne complexe de réactions, dont le détail nous échappe complètement, que son rôle est de déclancher et non de former. L'observation que des substances banales telles que l'oxyde de carbone, l'éthylène (qui est libéré par un grand nombre de fruits), l'acétylène et le propylène sont capables de produire une rhizogenèse intense chez *Tagetes* confirme cette supposition ; il est difficile de leur attribuer une action spécifique ; mais on peut sans difficulté admettre qu'elles agissent sur l'hormone rhizogène et sur la chaîne de réactions qui constitue la rhizogenèse.

En envisageant, non plus les aspects chimiques mais morphologiques du problème, on en vient également à se demander s'il s'agit de la *naissance* d'une racine qui peut, sous l'influence de l'hormone, se former n'importe où sur la tige ou bien si nous avons affaire à un phénomène localisé, ne pouvant se manifester qu'en des endroits déterminés ? En d'autres termes, chaque cellule possède-t-elle, quelle que soit sa situation le long de la tige les potentialités rhizogènes, ou bien cette propriété est-elle localisée dans des cellules ou des groupes de cellules déterminés, fonctionnant comme point végétatif prédéterminé présent en quelque endroit de la tige ?

Remarquons tout d'abord que les expériences de formation des racines ne réussissent pas avec toutes les plantes ; les meilleurs résultats sont obtenus avec des végétaux qui, naturellement, possèdent déjà la tendance de produire des racines adventives : *Coleus*, *Acalypha* p.ex., D'autre part, les concentrations d'hormones nécessaires à produire les racines sont de beaucoup supérieures à celles présentes dans la nature. Nous n'avons, sommes toutes, aucune preuve définitive qu'il s'agisse bien d'un véritable déclanchement de la genèse d'une racine à partir de cellules indifférenciées, possédant, où qu'elles se trouvent, le pouvoir de conduire à la formation des racines, à l'organisation des tissus. Jost relate une expérience par laquelle

il montre que chez *Lupinus*, on peut dans le péricycle, dans la région des tubes criblés, induire des divisions cellulaires avec l'hormone; cependant lorsque les parties rhizogènes situées devant les vaisseaux sont enlevées, il n'y a pas formation de racines. La division cellulaire, induite par l'hormone, ne peut donc pas, dans tous les cas conduire à la rhizogenèse; la présence d'un tissu déterminé est nécessaire.

Sur la base de ces expériences, il semble, en conséquence, préférable d'admettre, 1° que l'hormone agit comme une manière d'excitant en déclanchant l'un des actes du processus complexe de la formation des racines. 2° que cette action s'exerce en des endroits déterminés sur les cellules ou des groupes de cellules particuliers, plus sensibles à l'action de l'excitant chimique et qui n'attendent que ce dernier pour épanouir leurs potentialités. Si tel est réellement le cas, l'expérience, tout en restant intéressante, perd le caractère singulier qu'on a voulu lui conférer au début. On se trouve à nouveau devant ce caractère donné de *labilité* qui serait à la base des phénomènes observés et rendrait les expériences possibles. Nous tirerons plus loin quelques conclusions générales de ces faits.

Le phénomène vitaminique

Lorsque nous parlons de la forme d'un individu végétal, nous pensons avant tout au cas idéal de la plante verte, autotrophe, capable d'effectuer à partir des éléments, la synthèse de tous ses constituants chimiques, même les plus complexes. Or, nous savons, et c'est là l'intérêt de la physiologie végétale, que dans un grand nombre de cas ces facultés de synthèse sont perdues; au végétal autotrophe, on oppose brutalement l'hétérotrophe, celui à qui, à l'instar de l'animal, on doit offrir des composés préformés, déjà synthétisés.

Nous quittons pour un instant le problème de la forme et analysons cette nouvelle question qui va nous ouvrir d'autres voies.

Un microorganisme (champignon, du groupe des Mucorinées), *Phycomyces Blakesleanus*, qui ne se trouve que rarement dans la nature et dans ce cas sur des substances organiques, va nous servir de point de départ.

Cultivé sur un milieu rigoureusement synthétique, c'est-à-dire constitué par des substances pures, chimiquement définies, il ne se

développe pas. La spore-germe forme un court boyau; un flocon submergé produit par l'enchevêtrement des boyaux de germination, peut prendre naissance; mais tout s'arrête là, le thalle aérien ne se forme pas. Il semble qu'il manque quelque chose, nous dirions presque un excitant, un stimulant, dont l'absence paralyse tout développement. Sur un milieu naturel, beaucoup plus riche que l'artificiel, la croissance est normale et l'on obtient, dans les conditions de nos expériences, environ 100 mg de matière vivante sèche.

Si avec quelques centaines de millions de spores on fait un extrait (ce nombre est beaucoup plus grand que celui des germes normalement inoculés dans un milieu) que l'on ajoute à un milieu inactif, le microorganisme croît presque normalement. Il ne s'agit donc pas d'un manque absolu, total d'une substance nécessaire à la croissance; celle-ci doit être présente dans chaque spore, mais en quantité insuffisante; elle peut tout au plus assurer la germination d'une spore; seul l'extrait de plusieurs millions de germes fournit en quantité suffisante la „substance indispensable“ à la germination et à la croissance des 100,000 germes inoculés dans le milieu, leur permettant de franchir le stade critique et de conduire à la formation d'un thalle normal. S'agit-il vraiment d'une substance définie?

Des recherches approfondies dans le détail desquelles je ne puis entrer, ont conduit à cette conclusion que le phénomène a réellement une base matérielle et que la ou les substances nécessaires ici étaient répandues dans le règne végétal (germe de blé, racines, feuilles, pollen, tissus divers) ainsi que dans le règne animal. En dernière analyse, nous tombons sur une substance cristallisée, la seule dont on ait jusqu'à maintenant pu montrer le rôle dans ce phénomène: une vitamine, la vitamine B₁ (aneurine) dont on connaît la vaste distribution chez les végétaux qui en font la synthèse et la transmettent aux animaux, auxquels elle est indispensable. Une trace, 0,5 γ dans un milieu de culture de 25 cc, suffit à assurer un complet développement dans des conditions données. Avec des cultures faites sur 1 cc de milieu synthétique, la dose de 0,4 microgamma (1 m γ = 1 milliardième de gramme) exerce déjà un effet: avec 10 m γ nous obtenons la culture maximum; l'unité biologique avec laquelle nous mesurons l'action de cette substance, l'unité-Phycomyces, c'est-à-dire la quantité de vitamine nécessaire, toutes les conditions étant optimales, pour obtenir 1 mg. de matière

vivante sèche, est de 5 μ g. Nous avons donc un nouveau cas, bien différent du précédent, avec lequel nous voyons que la croissance d'un être vivant (nous entendons son développement total) est liée à la présence d'une quantité infinitésimale d'une substance à action apparemment spécifique.

Comment agit cette vitamine? Quel est son rôle dans le métabolisme du microorganisme?

Nous constatons avec surprise que le thalle du microorganisme cultivé en présence de vitamine, ne semble plus contenir trace de celle-ci! Au cours de son utilisation, de son incorporation dans le métabolisme de l'organisme, elle semble disparaître comme individu chimique.

Les connaissances récemment acquises au sujet de la constitution chimique de l'aneurine, qui est non seulement isolée de produits naturels, mais aussi synthétisée, vont nous aider. On sait que l'aneurine ($C_{12}H_{17}ON_4SHClHCl$) est formée par deux constituants: le 4-méthyl-5-(β -oxyéthyl)-thiazol et la 2-méthyl-4-amino-5-amino-méthyl-pyrimidine. Elle n'est pas un simple produit d'addition. L'animal ne peut utiliser séparément les deux constituants séparés; il lui faut la molécule complète d'aneurine.

Si nous offrons à *Phycomyces* un seul des constituants, l'effet est nul; si les deux sont présents, la croissance se fait normalement, la quantité optimale étant, à peu de chose près, équimoléculaire avec la dose optimale d'aneurine (molécule complète). Que fait l'organisme avec ces substances? Plusieurs hypothèses sont possibles. On peut admettre que le microorganisme scinde par hydrolyse la molécule d'aneurine (rupture de la liaison $-CH_2-\overset{\underset{|}{|}}{N}-$, entre le thiazol et la pyrimidine), et qu'il utilise à des fins diverses, les deux constituants libérés. Une seconde hypothèse a l'avantage d'être plus en accord avec ce que nous savons du rôle de l'aneurine: elle consisterait à admettre que *Phycomyces* resynthétise à l'aide des deux constituants offerts, la molécule complète d'aneurine; celle-ci, comme telle, lui serait indispensable et pourrait, comme c'est le cas chez l'animal, jouer le rôle d'une co-carboxylase, participant à la décarboxylation de l'acide pyruvique. En faveur de la première hypothèse, il faut relever le fait que nous ne retrouvons pas de l'aneurine dans le thalle de *Phycomyces*, développé en présence d'une grande quantité de ce facteur de croissance. La question est grosse d'importance, car elle se trouve au centre du

problème de la synthèse biologique de l'aneurine; il n'est pas possible de lui donner ici une solution définitive.

Cette action est très spécifique et liée à une constitution chimique définie. Des essais effectués avec divers produits de substitution de la pyrimidine et du thiazol de l'aneurine montrent qu'une très faible modification de constitution suffit à annuler l'effet auxogène.

Nous voyons là sur le vif en quoi peut consister un facteur de croissance et son action sur un microorganisme; celui-ci a perdu le pouvoir de faire la synthèse d'un constituant important; il est devenu, par une sorte de mutation physiologique dont l'origine est inconnue, hétérotrophe du point de vue de cette substance. Même si toutes les autres conditions sont requises, ce mécanisme compliqué et délicat qu'est un être vivant ne peut entrer en jeu; il manque l'un des rouages, l'un des plus fins, dont l'absence paralyse tout; seulement lorsque cette substance est ajoutée au régime et incorporée à l'organisme qui ne peut plus la synthétiser, la croissance s'effectue.

Fait singulier, à l'intérieur d'un groupe homogène, les Mucorinées, toutes les espèces n'ont pas les mêmes exigences en ce qui concerne les facteurs de croissance; quelques-unes (certains *Rhizopus*, *Absidia*, *Mucor*) ne les requièrent pas. Logiquement, nous avons pensé que ces dernières espèces, moins dégradées que *Phycomyces*, pouvaient en faire la synthèse (1934); des extraits de ces dernières doivent donc pouvoir activer le développement de *Phycomyces*, ce qui est effectivement le cas. On peut donc supposer que soit l'aneurine (elle est présente chez les champignons, *Aspergillus*, p. ex), soit ses constituants sont effectivement synthétisés par les espèces qui, apparemment, semblent pouvoir s'en passer.¹

Nous avons admis que du point de vue des facteurs de croissance, certaines espèces étaient plus libres, plus indépendantes que d'autres, les premières étant auxo-autotrophes, les autres auxo-hétérotrophes.

Nous voyons donc comment à l'intérieur d'un groupe relativement restreint et homogène, l'hétérotrophie, la perte du pouvoir de synthèse (les pertes de fonctions, comme les a appelées LwoFF)

¹ Une espèce auxo-hétérotrophe (*Mucor Ramannianus*) qui requiert l'aneurine pour son développement, se contente du thiazol seul: elle doit pouvoir synthétiser la pyrimidine (M. MÜLLER).

progressent par degrés insensibles, presque imperceptibles, décelables seulement par l'expérience (hétérotrophie fractionnée).

Un cas, particulièrement favorable, étudié par LWOFF, permet de se faire une idée du rôle précis d'un facteur de croissance.

Certaines bactéries (*Haemophilus parainfluenzae*) nécessitent pour leur développement un facteur thermostable, qui fut appelé facteur V; il agit à faible dose et semble bien jouer le rôle de substance auxogène. Or, LWOFF vient de démontrer que ce facteur V n'est pas autre chose qu'un co-ferment à structure compliquée.

Il est vrai que ce facteur de croissance n'est pas rigoureusement pur; malgré cela, une préparation de co-zymase de levure agit à une dilution de $1/270.000.000$ environ. Aucun exemple n'illustre mieux l'un des mécanismes d'action possible d'une substance auxogène. Il constitue dans tout l'édifice de la matière vivante un constituant fondamental qui, au même titre que les autres composés, doit être ou synthétisé ou fourni par le régime alimentaire.

Le cas du facteur V nous montre une incorporation directe du facteur de croissance à la matière vivante de l'organisme; il existe certainement des cas plus compliqués, dans lesquels la substance auxogène doit subir des transformations plus ou moins complexes avant de pouvoir jouer son rôle dans le métabolisme de l'individu qui la requiert; c'est le cas pour la vitamine B₁, qui semble devoir subir une hydrolyse préalable. Il n'est pas impossible qu'elle participe à la constitution d'un système enzymatique. Il existe encore peu de données précises dans ce domaine.

De nombreuses bactéries, ainsi que des protozoaires, requièrent pour leur développement, un facteur X; on sait aujourd'hui (LWOFF) que ce facteur n'est pas autre chose que l'hématine; l'action de celle-ci est spécifique; tout changement de structure conduit à une inactivation; la plupart des bactéries synthétisent l'hématine; la nécessité du facteur X est déterminée par la perte du pouvoir de synthèse de ce composé, jouant un rôle capital dans le système catalytique respiratoire de ces microorganismes.

Staphylococcus aureus requiert également un facteur de croissance (KNIGHT); de patientes recherches ont montré qu'il s'agissait d'acide nicotinique (ou de son amide) et de vitamine B₁; la vitamine B₁ peut être remplacée par ses constituants, pyrimidine et thiazol.

Nous possédons donc un certain nombre de faits grâce auxquels la notion de facteur de croissance perd sa signification mystérieuse; les mécanismes deviennent compréhensibles et s'incorporent dans les données et les théories connues.

La levure nous fournira, grâce aux importants travaux de KÖGL, des faits tout aussi importants et généraux. Certaines espèces (*Saccharomyces cerevisiae*) requièrent pour leur développement une substance qui fut appelée bios. Une longue série de travaux chimiques a fait passer ce bios hypothétique dans le domaine des réalités. *Saccharomyces cerevisiae* cultivé en milieu synthétique produit un maximum de matière vivante, lorsque trois bios au moins sont présents (KÖGL), le bios I qui n'est autre que le mésoinositol, peut-être aliment banal, le bios II (biotine) isolé à partir du jaune d'œuf et qui agit déjà à une dilution de $1/400.000.000.000$, ainsi qu'un bios III représenté par l'aneurine. La nature chimique du principal de ces facteurs, le bios II n'est pas connue et le mode d'action de ces trois substances est loin d'être éclairci. Leur nécessité est une preuve de la dégradation physiologique de cette espèce.

Toutes les levures n'ont pas les mêmes exigences en bios; les espèces sauvages, respirant bien et ne fermentant pas, non dégradées par la culture, semblent pouvoir se passer de substances auxogènes, c'est-à-dire qu'elles possèdent le pouvoir de les synthétiser. (COPPING.) En étudiant en détail quelques-unes de ces espèces, *Rhodotorula rubra* et *flava*, nous constatons que dans un milieu synthétique elles se développent d'une manière appréciable, sans cependant atteindre le stade que l'on serait en droit d'espérer. Une adjonction d'inositol (bios I) et d'acide pantothénique de R. J. WILLIAMS (contenant le bios II) est sans effet alors que dans une expérience parallèle, ces substances agissent très fortement sur une souche de *Saccharomyces cerevisiae*. Mais si l'on ajoute au milieu une trace d'aneurine cristallisée, il se produit une accélération notable des divisions cellulaires et de la quantité de matière produite (jusqu'à 200 %); seul le constituant pyrimidique de l'aneurine, la 2-méthyl-4-amino-méthyl-pyrimidine, joue le rôle de bios chez *Rhodotorula rubra* (0,2 γ pour 25 ccm.); le thiazol, 4-méthyl-5-(β-oxyéthyl)-thiazol ne produit ni accélération, ni inhibition. Il en est de même pour *Rhodotorula flava*, sauf que chez cette espèce, le thiazol produit déjà une faible accélération de la croissance.

A l'intérieur de ce groupe de levures, nous avons donc des types extrêmes, les uns auxo-hétérotrophes (*Saccharomyces*), les autres presque complètement auxo-autotrophes (*Rhodotorula rubra*). Fait curieux, l'extrait de *Rhodotorula rubra* n'accélère que très peu la croissance de *Saccharomyces cerevisiae*, contrairement aux prévisions, ce qui peut s'expliquer par la présence de substances inhibitrices.

L'action de cette triade de facteurs ne se limite pas à la levure. En reprenant d'anciens travaux, dans lesquels divers auteurs mirent en évidence la nécessité de facteurs de croissance pour certains microorganismes, sans cependant parvenir à les isoler, on constate aujourd'hui que ces organismes réagissent précisément aux facteurs auxogènes chimiquement identifiés.

Un parasite du coton, *Nematospora Gossypii*, requiert selon BUSTON et PRAMANIK un ou plusieurs facteurs de croissance; l'un d'eux peut être concentré à partir de la lentille. KÖGL montre effectivement que la triade inositol, biotine, aneurine¹ produit, par rapport au contrôle, une augmentation du poids de la récolte de 2500 % les doses de biotine et d'aneurine ne dépassant pas 1 γ pour 25 cc de milieu nutritif.

Staphylococcus aureus, déjà cité, demandant pour sa croissance de l'acide nicotinique et de l'aneurine (ou les constituants de l'aneurine) voit également son développement amélioré par une adjonction supplémentaire de biotine (KÖGL).

Ces exemples suffisent pour notre démonstration; il est réconfortant de retrouver partout les mêmes facteurs intervenant chez des organismes très différents.

La répartition très large de l'aneurine chez les plantes (nous avons montré qu'un grand nombre d'extraits végétaux étaient capables d'activer le milieu de culture de *Phycomyces*) ainsi que celle de la biotine, attestent que nous avons affaire à des phénomènes très généraux.

On a voulu d'une manière quelque peu prématurée, voir dans la biotine (bios II) une hormone de la division cellulaire, en se basant sur les observations effectuées avec la levure. Rien n'est moins certain; parallèlement à la division cellulaire se produit une augmentation de la masse de matière vivante produite, c.-à-d. une intensification de l'assimilation; il est difficile de préciser le sens

des relations de causalité existant entre les deux phénomènes; il semble cependant logique d'admettre que l'action primaire s'exerce sur la production de matière et non sur la division cellulaire.

On relèvera que dans toutes ces actions il s'agit avant tout d'un problème du métabolisme et non de forme et que de plus, ces résultats sont obtenus avec des organismes simples, parfois des microorganismes qui n'ont pas la structure cellulaire (chez lesquels, par conséquent, le problème de la division cellulaire ne se pose pas). Il est impossible de séparer les deux ordres de problèmes; on peut simplement convenir que dans le cas du phénomène vitaminique, il ne s'agit pas d'une action spécifique s'exerçant sur la forme mais d'un phénomène général, relevant du domaine de la nutrition, contribuant à fournir la base matérielle sur laquelle s'édifiera la forme spécifique.

D'autre part, il paraît assuré que la plante verte, qui synthétise ses facteurs de croissance puisqu'on les retrouve dans les tissus et qui, à l'état d'embryon et de plantule, les retire des cotylédons et de l'albumen où ils sont mis en réserve, doit aussi les utiliser pour ses fins propres. Le grain de blé, la semence de pois, contiennent effectivement des doses élevées de biotine et d'aneurine. La nécessité de ces substances n'apparaît pas au premier abord, puisqu'ils n'ont pas besoin d'être fournis du dehors; cependant si l'on cultive en milieu aseptique, des embryons privés de cotylédons (pois) dont les besoins nutritifs sont couverts par le sucre, l'azote et les éléments minéraux du milieu, on constate que le développement normal ne s'effectue pas si l'on n'adjoint pas au liquide de culture des facteurs de croissance, là encore il ne s'agit pas d'autre chose que de la biotine et de l'aneurine (KÖGL).

Il en serait de même pour l'acide ascorbique (vitamine C) (VIRTANEN) qui manque dans certaines graines sèches, mais qui est synthétisé dès les premiers stades de développement; sa nécessité, dans une culture aseptique, est encore discutée.

Il y a là une justification d'un principe de finalité biochimique (CL. BERNARD) dangereux lorsqu'on le pousse trop loin, mais capable de nous orienter; toute substance présente dans un tissu doit y jouer un rôle, même si celui-ci ne peut être immédiatement mis en évidence; les vitamines en particulier, dont le rôle certain n'apparaissait que chez les animaux, semblent devoir jouer chez les plantes qui les synthétisent un rôle insoupçonné.

Un principe analogue peut être établi lorsque nous observons qu'un, deux ou trois facteurs d'un même groupe interviennent dans le métabolisme de toute une série d'organismes, des bactéries aux plantes supérieures. On est en droit de supposer que l'espèce qui les synthétise tous, doit pouvoir les fournir à l'espèce qui ne les fabrique que partiellement; le fait se vérifie dans certains cas, et pas dans d'autres; tant que l'on n'est pas mieux renseigné sur le mécanisme d'action des plus importants d'entre eux, il est difficile de tirer des conclusions valables pour tous les cas. Il s'agit là d'une généralisation anticipée d'un principe nécessitant de nombreuses vérifications encore et qu'il importe d'appliquer avec prudence.

Le phénomène vitaminique — nous entendons par là l'action d'une trace de substance organique sur l'assimilabilité des aliments banaux — paraît nette lorsque la quantité de la première est infiniment plus petite que les doses des derniers; nous avons alors affaire à un facteur de croissance au sens propre du mot, selon notre définition. Il semble cependant que dans certains cas où les différences quantitatives ne sont pas aussi tranchées, on ait tendance à définir comme facteur de croissance une action qui se rapproche plutôt de celle d'un aliment banal plastique ou énergétique. Il est, à notre avis, indispensable de connaître exactement le poids de matière formée grâce à la présence d'une quantité donnée de facteur de croissance; pour les microorganismes, cela est parfois difficile et l'opération n'est pas toujours effectuée. Lorsqu'une culture de microorganismes livre une récolte sèche de quelques milligrammes et que l'on a affaire à un facteur de croissance non identifié, non complètement purifié, dont il est nécessaire d'utiliser une assez forte quantité, il est bien difficile de conclure sans autre que nous avons affaire à une action de facteur de croissance.

Par leur intervention à l'état de trace, à la manière d'un catalyseur, l'action de ces substances organiques touche de près à celle des éléments minéraux. On connaît, p. ex., l'effet extrêmement délicat du Molybdène sur *Aspergillus* (on croyait avoir affaire à une impureté organique), celle du Molybdène sur l'assimilation de l'azote par *Azotobacter*, celle du Vanadium sur l'assimilation de l'asparagine par le même organisme; celles du Zinc et du Manganèse (*Aspergillus*) relèvent de la physiologie classique du métabolisme. Sur la base de ces données on peut se demander si certains facteurs de

croissance considérés comme authentiques ne sont pas en réalité des ions métalliques, dont il est parfois bien difficile de s'assurer s'ils ne sont pas présents dans le milieu nutritif, ou n'accompagnent pas la substance organique considérée comme substance auxogène.

L'importance de ces pseudo-facteurs de croissance n'est pas à sous-estimer. Le fait que certains facteurs de croissance agissant sur *Aspergillus* (facteur B de NIELSEN) voient leur action amplifiée par un co-facteur de nature minérale extrait du papier filtre nous le montre; l'observation que ce co-facteur extrait peut être remplacé par un mélange en proportions convenables de Ba, Be, Hg, Cr, Ca, Zn, Cd, Cu, Mn, Co, Li, nous ouvre des voies nouvelles.

D'autre part, nous connaissons l'action olygodynamique de certains ions, tels que le cuivre, l'argent qui, à l'état de trace, peuvent inhiber complètement le développement d'un microorganisme. L'empêchement, l'inhibition que nous avons tendance à attribuer à l'absence d'un facteur de croissance de nature organique ne pourrait-elle pas être due, en réalité, à un phénomène de toxicité produit par un tel ion? Dans ce cas, le facteur de croissance aurait simplement comme but de neutraliser cette action toxique permettant par là la croissance de l'organisme? La question de l'eau distillée n'est pas de nature à simplifier le problème; il est presque impossible de l'obtenir absolument privée d'impuretés; elle introduit donc dans l'expérience une inconnue avec laquelle il faut compter.

Nous avons à maintes reprises, insisté sur ces faits, en montrant de quelle manière ils contribuent à rendre instable la base même du problème.

On comprend le scepticisme avec lequel on est en droit d'envisager les expériences selon lesquelles des facteurs auxogènes de nature organique sont indispensables à la plante supérieure; un ion minéral est difficile à exclure.

Pour qu'on puisse invoquer l'intervention d'un facteur de croissance organique véritable, il faut démontrer qu'une impureté minérale n'est pas en jeu; que le dit facteur est réellement absorbé, qu'il s'incorpore dans un des actes du métabolisme de l'organisme considéré et que son action n'est pas simplement externe. Bien peu de recherches satisfont à ces conditions. En insistant ainsi sur les limites du problème, nous n'entendons pas jeter un discrédit sur les recherches effectuées jusqu'à maintenant, mais simplement montrer avec quelle prudence il faut interpréter les résultats.

D'autre part, nous devons nous rappeler qu'une simple modification des caractéristiques physico-chimiques du milieu peut agir favorablement sur l'évolution d'une culture; une variation de la viscosité, de la tension superficielle, de la concentration en ions d'hydrogène, peuvent contribuer à déclancher la croissance d'une culture, ou favoriser l'absorption des éléments nutritifs du milieu; ces modifications peuvent être provoquées par de petites quantités de substances ou par un matériel quelconque dans lequel on supposait exister un facteur auxogène.

Résumant les faits généraux exposés ici, nous arrivons à la conclusion que le développement du végétal se réalise grâce à l'action de deux catégories de facteurs correspondant à deux actions bien différentes: 1° des facteurs qui agissent directement sur la plasticité des membranes et la forme des cellules et indirectement règlent les corrélations et interviennent dans la genèse des organes; en un mot, ils participent à la naissance et au conditionnement de la forme; 2° des facteurs qui ne semblent pas avoir une action morphogénétique spécifique, qui n'agissent pas directement sur une forme, sur une structure, mais d'une manière générale sur l'assimilation en contribuant ainsi à fournir le substrat matériel grâce auquel la forme spécifique se construira. Il est délicat de faire une classification logique et rationnelle de ces substances; il règne entre les termes facteur de croissance, hormone, vitamine, une certaine confusion provenant du fait que ces concepts ont été empruntés à la physiologie animale; la difficulté réside surtout dans la nécessité dans laquelle nous croyons nous trouver de prendre comme critère le mode de formation (endogène ou exogène) de la substance active. Il tombe sous le sens que l'acide ascorbique, vitamine chez l'animal, formé dans la plante et intervenant dans son métabolisme, y devient hormone.

Si l'on élimine ce critère, et si, comme nous l'avons proposé, on prend comme base les deux actions fondamentales que nous avons décrites, on arrive à y faire entrer les principales substances de croissance étudiées. Nous parlons d'une action vitaminique chaque fois qu'une substance, qu'elle soit endogène ou exogène, agira principalement sur l'assimilabilité, sans avoir forcément une action morphogénétique spécifique, d'une action hormonale, chaque fois qu'une substance, qu'elle soit endogène ou exogène, agira en dernière analyse d'une manière spécifique sur une forme, une structure.

L'acide ascorbique, l'aneurine, qui sont formés dans la plante y ont une action vitaminique et non hormonale. Le bios, qui est formé dans la plante et qui y règle avant tout la production de matière, c.-à-d. l'assimilation aura à ce même titre, une action vitaminique et non hormonale.

Nous ne nous dissimulons pas ce qu'une telle classification a actuellement d'artificiel, car ces deux groupes de phénomènes sont naturellement liés; mais, en considérant surtout les cas extrêmes, on peut apporter une certaine clarté dans des phénomènes disparates.

Essai de classification

Substances actives (Wirkstoffe)	{	1° Pseudofacteurs de croissance, de nature minérale.
jusqu'à un certain point (Reizstoffe)		2° Substances à action vitaminique. Facteurs de croissance s. str. Wachstumsfaktoren s. str. Vitamines s. lat.
Catalyseurs biologiques du développement		3° Substances à action hormonale. Hormones s. lat. Wuchsstoffe.

1° *Pseudofacteurs de croissance de nature minérale*

Ca. sur *Azotobacter*, Zn, Mo, Mn sur *Aspergillus*. Action de divers cations sur les plantes supérieures.

2° *Substances à action vitaminique — action sur le métabolisme*

Végétaux hétérotrophes:

Aneurine		<i>Phycomyces</i> , autres Mucorinées. Bact. propionique. <i>Poly-</i> <i>porus</i> .
2-méthyl-4-amino-5-amino-méthyl-pyrimidine	{	<i>Phycomyces</i>
4-méthyl-5-oxyéthyl-thiazol		
2-méthyl-4-amino-5-amino-méthyl-pyrimidine		<i>Rhodotorula rubra</i>
Aneurine	{	<i>Saccharomyces</i> <i>cerevisiae</i> <i>Nematospora</i> <i>Gossypii</i>
Biotine		
(Mésoinositol)		
	en combinaison	

Aneurine (ses constituants), acide nicotinique, biotine	<i>Staphylococcus aureus</i>
Hématine	<i>Flagellés</i>
Facteur V (co-zymase)	<i>Haemophilus parainfluenzae</i>

Substances B. de Nielsen ?

Acides pyruvique, glycolique et glyoxylique *Aspergillus niger*

Végétaux autotrophes :

Biotine	} en combinaison	<i>Pisum</i>
Aneurine		
Acide ascorbique ?		<i>Pisum</i>

3° Substance à action hormonale — action sur la croissance, la forme et le mouvement

a) *Hormones spécifiques de la division cellulaire (non isolées).*

b) *Croissance et forme. Auxine, hétérauxine et dérivés*

Plasticité des membranes. Forme de la cellule. Divisions cellulaires des méristèmes. Rhizogénèse. Certains tropismes.

c) *Mouvements. l-histidine*

Mouvements protoplasmiques de *Valisneria*.

Hormone de *Mimosa*.

On voit que l'intérêt de cette classification réside dans le fait que les phénomènes de même nature, vitaminiques ou hormonaux, seront, chez les animaux et les plantes, désignés par les mêmes termes; on peut, sans inconvénient, conserver les termes phyto et zoohormones, ou phyto et zoovitamine, selon la catégorie d'organismes chez laquelle la substance exerce l'action principale;¹ là encore, on ne prendra plus comme critère le fait que la substance

¹ Nous conservons, pour des raisons historiques, le terme: facteur de croissance, en lui donnant un sens restreint (fact. accessoire de croissance) rendu familier par la vitaminologie.

est formée chez l'animal ou chez la plante ; cette distinction devient d'ailleurs de plus en plus imprécise, si l'on se rappelle que certaines hormones agissant avant tout chez la plante sont formées en grande quantité chez l'animal. Malgré leur origine différente, les auxines, s. str. et l'hétérauxine seront réunies dans le même groupe ; la plante supérieure chez laquelle l'auxine agit, synthétise cette auxine a ou b ; l'hétérauxine qui agit avec la même intensité ne semble pas être fabriquée par le végétal supérieur autotrophe, mais par des microorganismes hétérotrophes (rhizopine chez *Rhizopus suinus* = hétérauxine) chez lesquels on ignore le rôle qu'elle peut jouer, ainsi que par l'animal, dans l'urine duquel on peut l'extraire. Il serait singulier de séparer ces deux substances qui agissent de la même manière, l'auxine étant une hormone (endogène), l'hétérauxine, si singulier que cela paraisse, une vitamine (exogène).

D'autre part, on retrouve dans cette classification les trois chapitres fondamentaux de la physiologie : métabolisme, croissance et mouvement.

Les hormones *spécifiques* de la division cellulaire, qui ne sont pas connues chimiquement, représentent un cas intermédiaire ; nous les classons provisoirement dans les hormones véritables.

Les hormones de la croissance — forme et mouvement — sont naturellement, dans certains cas, en relation étroite ; l'auxine intervient aussi bien sur la croissance que sur les tropismes qui relèvent du mouvement.

On trouvera certainement des faits qui ne cadreront pas avec la classification, particulièrement dans les groupes de substances dont on ne sait si elles interviennent d'une manière primaire dans le phénomène de division cellulaire ou dans celui de l'assimilation.

On signale une Bactérie (*Bactérium auxinophilum*) (JACOBS) dont la croissance est favorisée par une auxine ; le fait est inattendu, mais dans ce cas il s'agit probablement d'une action nutritive banale, l'auxine étant utilisée comme aliment, et non d'une action hormonale.

Cycle de substances actives

Le fait que les quelques facteurs que nous connaissons et qui interviennent dans un nombre appréciable de cas, sont répandus chez un très grand nombre d'organismes, mettent en évidence les

dépendances, qui, à ce point de vue, doivent exister entre les diverses catégories d'êtres vivants.

Si, dans une culture de *Phycomyces* non activée, ne formant qu'un faible thalle submergé, une infection, un *Aspergillus* p. ex., se développe à l'endroit où cette dernière agit, *Phycomyces* croît d'une manière luxuriante, *Aspergillus* livre un facteur de croissance (probablement la vitamine B₁, dont nous savons qu'elle existe dans le thalle de quelques *Aspergillus* [1931]).

Dans une même culture de *Phycomyces* une levure peut s'introduire comme infection; dans le milieu synthétique non activé, la levure elle-même se développe souvent mal; avec *Phycomyces*, les deux croissent très bien; la levure riche en aneurine, en fournit certainement à *Phycomyces* qui en requiert; celui-ci, à son tour, livre quelque chose à la levure du bios probablement; nous avons montré que les extraits de *Phycomyces* sont effectivement capables d'accélérer la croissance de la levure en milieu synthétique. M. MÜLLER, étudiant dans notre laboratoire, une Mucorinée du sol (*Mucor Ramannianus*) qui pour sa croissance requiert au moins un facteur de croissance, l'aneurine, montre que les extraits concentrés de sol, les décoctions de feuilles fraîches ou en décomposition, possèdent la propriété d'activer notablement le développement de la Mucorinée. Dans le sol se trouvent toutes les substances libérées par la décomposition des matières organiques, ou produites par les microorganismes, ou diffusant des racines; c'est certainement à elles qu'est redevable l'action observée. La staphylocoque est stimulée par un filtrat de culture de *Proteus* (1889). On connaît un grand nombre de cas de ce genre étudiés à l'aide de cultures mixtes. Cette stimulation unilatérale ou réciproque, qui fréquemment doit reposer sur une action de facteurs de croissance, conduit à une sorte d'écologie des microorganismes et ouvre des aperçus nouveaux aux problèmes de la symbiose et du parasitisme. Il n'est pas exagéré de penser que les plantes supérieures profitent également des substances auxogènes libérées par les microorganismes.

On peut imaginer, dans la nature, un vaste cycle dont nous ne connaissons que quelques étapes à l'aide d'expériences de laboratoire, maintenant les organismes en état de dépendance réciproque, aussi sûrement que le Carbone ou l'Azote, et se déroulant à un niveau insoupçonné, peu accessible à l'expérience. BOAS a, à d'autres points de vue, insisté sur ce fait et montré les aspects pratiques du problème.

La notion d'excitant

Les substances du premier groupe, de nature hormonale, par leur action sur la plasticité de la membrane, interviennent également dans certains tropismes. Les facteurs externes (lumière, pesanteur), jouant le rôle d'excitant (Reiz), sont remplacés ici par une substance définie, l'hormone; où nous ne voyions autrefois qu'un phénomène, en soi incompréhensible, l'action d'un excitant, sa conduction, nous avons maintenant une manifestation matérielle; la conduction d'une excitation devient conduction d'une substance, déplacement d'une substance qui, par son action, assymétrique, détermine un allongement assymétrique et provoque une courbure. Un examen superficiel du problème semble nous autoriser à éliminer la notion d'excitation dans le sens que lui donne la physiologie classique. Ce serait être un peu simpliste; l'action de l'hormone, en supposant que nous connaissions exactement son mécanisme d'action, ce qui est loin d'être le cas — représente un stade, qui est précédé par une autre étape: celle de la formation de l'hormone (ou activation de l'hormone), à propos de laquelle nous ne savons rien. Si le déclenchement de l'excitation motrice peut, jusqu'à un certain point, être expliqué sans faire intervenir la notion d'excitant, il n'en est pas de même pour la genèse de l'hormone. Celle-ci se produit à un moment défini, en parfait accord avec les autres actes physiologiques de la plante — nous ne pouvons échapper au mot — sous l'influence d'excitants internes et externes! Nous devons, jusqu'à l'extrême limite, tendre à repousser la notion d'excitant qui porte en soi un finalisme que l'on voudrait pouvoir éviter; mais, pour l'instant, cette limite est rapidement atteinte et nous ne pouvons, sans inconvénient, nous séparer de cette notion de la physiologie classique; à cette dernière, toutes les données actuelles, nouvelles doivent être intégrées (cf. FITTING et JOST). Lorsqu'en dernière analyse, nous disons que la formation de l'hormone est un résultat de la croissance, nous confessons notre ignorance en ce qui concerne le mécanisme de sa genèse.

Si l'on essaie de faire le point et de situer dans la biologie végétale le nouveau chapitre qui vient d'être esquissé, on peut dire que celui-ci constitue à la fois un grand progrès et une grande désillusion. Partant d'une hypothèse géniale de SACHS qui supposait que la plante était redevable de ses organes à des substances organo-formatrices spécifiques, on arrive à isoler quelques-unes

de ces substances, qui, en vérité, jouent un rôle dans la morphogénèse.

Le titre de cet exposé était la genèse de la forme; avec le recul que nous avons maintenant, nous pouvons constater, en revenant sur la question posée au début, que tous les phénomènes observés chez les plantes ne sont pas fondamentalement différents de ceux que l'on retrouve chez les animaux, en ce qui concerne les hormones et les vitamines. L'identité même des phénomènes contribue à corriger les effets des divergences de la morphologie. Dans un alignement étonnant, quelques années de recherches assidues ont permis à la physiologie végétale de rejoindre celles des animaux, et de compenser un retard de plus d'un siècle, au cours duquel l'étude des hormones et des vitamines s'est lentement développée en physiologie animale. Nous pouvons dire sans exagération que ce nouveau chapitre a renouvelé complètement les principaux problèmes de la morphogénèse et de la physiologie végétale; des relations insoupçonnées ont été découvertes entre des phénomènes très différents; la causalité immédiate de ces derniers apparaît plus clairement. Ce pas accompli, en sommes-nous beaucoup plus avancés? L'expérimentateur, qui se rend compte de la fragilité des explications purement biologiques, tend de toutes ses forces à leur donner une base chimique; il se rend compte que les phénomènes les plus compliqués et les plus incompréhensibles de la vie ont une base matérielle et qu'une chaîne de réactions ininterrompue, une suite de réactions que l'on voudrait pouvoir saisir sans solution de continuité, relie le phénomène biologique à son substrat matériel. Mais une substance une fois trouvée — le problème devenant pour un instant purement chimique — se pose la question de savoir quand, pourquoi et comment cette substance naît, comment il se fait que son action s'agence si bien dans la chaîne infiniment complexe des autres actes vitaux; cela nous rappelle que pour l'instant, notre science existe telle que nous la connaissons, parce que le biologique a la primauté sur le chimique, que la biochimie, sorte de Biologie provisoire, est un moyen et non une fin, que la vie, comme l'a exprimé FLOURENS dans une belle image, *est une forme servie par la matière*.

Par le fait même de la rapidité avec laquelle les recherches se sont développées dans ce domaine, nous pouvons une fois de plus nous rendre compte du fossé infranchissable qui sépare la biologie pure de la physico-chimie et de la biochimie.

L'étude de ces questions nous conduit sans détours au problème constituant le centre de nos préoccupations théoriques: celui des rapports entre la matière et la vie; il y a là une raison théorique, qui, par avance, devait nous inciter à la prudence en nous montrant que les causes véritables de la formation d'un organe sont et doivent nous rester cachées.

C'est une banalité que de dire: la forme d'un être vivant, visible, macroscopique, est la résultante de forces et de structures internes, la spécificité de celle-ci déterminant la spécificité de celle-là. Nous sommes dans ce domaine, ébloui par l'idéal du physicien qui ne peut être le nôtre; partant de structures macroscopiques, il arrive, jusqu'à la limite où le conduit le pouvoir séparateur de ses instruments, à retrouver des structures microscopiques qui sont la réduction homothétique des premières; au-delà, il construit des structures ultra-microscopiques, qui sont encore de nouvelles réductions des précédentes. C'est, pour le biologiste aussi, une satisfaction de l'esprit que d'apprendre qu'au cristal cubique de chlorure de sodium correspond une molécule dont les atomes sont également disposés dans l'espace selon un cube. Mais c'est une nouvelle satisfaction, et non moindre, d'apprendre avec la physique d'aujourd'hui que l'infiniment petit n'est pas la réduction homothétique de l'infiniment grand et qu'à l'origine, se trouve quelque chose d'irréductible.

Nous faisons alors le raisonnement suivant: si la forme de l'être vivant et son organisation sont le résultat d'une force vitale toute autre recherche est inutile; nous ne pouvons l'admettre. Nous nous demandons, en éliminant cette explication vitaliste: à quel niveau de l'être vivant la matière acquiert-elle les propriétés qui la font participer à la vie; comme le dit L. DE BROGLIE:¹ quand se font ces mystérieuses jonctions de la matière et de la vie? Ce n'est pas au niveau du tissu ou de la cellule, qui représente un tout fini, organisé et irréductible. Ce n'est pas au niveau des molécules qui constituent la matière vivante; ils ne diffèrent pas de ce que nous offre le monde non vivant; ce doit être avant encore et dans des éléments plus petits.

Partant d'un point de vue différent, sur la base d'un raisonnement de physique théorique, C.-E. GUYE exprime une idée

¹ L. DE BROGLIE: Matière et Lumière. Paris, 1936. A. Michel.

de même nature lorsqu'il dit: « C'est aux actions statistiques qu'est due l'évolution physico-chimique régie par le principe de CARNOT, mais c'est dans les actions individuelles que l'on peut chercher la cause et l'origine de l'organisation de la vie et de la pensée. » ¹

L'impossibilité absolue dans laquelle nous nous trouvons de discuter ce problème nous montre avec une évidence indiscutable pourquoi il est vain de parler du rôle réellement formateur d'une substance et pourquoi nous ne pouvons connaître que le conditionnement chimique de la forme et non sa création.

Ce ne sont pas seulement les biologistes qui sont obligés de s'arrêter devant ce hiatus infranchissable séparant la biologie de la physico-chimie. Lorsqu'un physicien ² nous dit: «... il y a dans l'évolution physico-chimique vitale quelque chose, sinon de totalement différent, du moins de plus compliqué et de plus général que ce que nous observons dans le monde inorganique», ou encore: « La physico-chimie au sein des organismes, que l'on a coutume d'appeler physiologie, serait donc une physico-chimie plus générale que celle qui résulte de nos expériences habituelles de physique et de chimie ... », il émet des idées auxquelles nous souscrivons sans peine et qui cadrent avec notre intuition profonde.

Malgré des succès partiels, nous constatons la difficulté qu'il y a à appliquer les schémas physico-chimiques aux phénomènes de l'ordre vital et la déception que l'on éprouve chaque fois que par cette transposition, on croit atteindre quelque cause première, ou simplement plus profonde et plus générale. On a l'impression que deux équipes d'ouvriers, chacune au flanc d'une montagne, travaillent laborieusement au percement d'un tunnel; mais, partis à des niveaux différents, ils ne se rencontreront jamais. Il semble que tout le malentendu naît de l'impossibilité dans laquelle nous nous trouvons de prévoir et de calculer ce niveau initial; nous voyons où se trouve la difficulté et qu'elle n'est pas simplement d'ordre technique, mais nous ne pouvons rien de plus que d'avouer notre impuissance.

¹ C.-E. GUYE: Les frontières de la physique et de la biologie. Genève, 1936, Kündig.

² C.-E. GUYE: L'évolution physico-chimique. Paris, 1922, Chiron.

Travaux cités

- FRIEDRICH BOAS. Untersuchungen über Biokatalysatoren in Wiesen- und Weidenpflanzen. Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung. 1927, 8, p. 164—176.
- Dynamische Botanik. Berlin, Lehmann, 1937.
- JAMMES BONNER. Zum Mechanismus der Zellstreckung auf Grund der Mizellarlehre. Jahrb. wiss. Bot., 1935, 82, p. 377—412.
- HANS FITTING. Die Hormone als physiologische Reizstoffe. Biol. Centralbl., 1936, 56, p. 169—186.
- ERNST GÄUMANN. Immunitätsprobleme bei Pflanzen. Schweiz. med. Wochenschr., 1937, 67, p. 10.
- MAX GEIGER-HUBER. Über den hormonalen Einfluss der β -Indolylessigsäure auf das Wachstum isolierter Wurzeln in keimfreier Organkultur. Jahrb. wiss. Bot., 1936, 84, p. 233—253.
- B. C. J. G. KNIGHT. The Nutrition of *Staphylococcus aureus*. Nicotinic acid and vitamin B₁. Biochem. Journ., 1937, 31, p. 731—737.
- The activities of nicotinic acid, aneurin (vitamin B₁) and related Compounds. Biochem. Journ., 1937, 31, p. 966—973.
- FRITZ KÖGL. Über Wuchsstoffe der Auxin- und der Biosgruppe. Ber. d. chem. Ges., 1935, 68, p. 16—28.
- Biotin und Aneurin als Phytohormon. Zeitschr. physiol. Chemie, 1936, 243, p. 209—226.
- Wirkstoffprinzip und Pflanzenwachstum. Die Naturwiss., 1937, 25, p. 465—470.
- LUDWIG JOST. Über Wuchsstoffe. Zweiter zusammenfassender Bericht. Zeitschr. f. Bot., 1937, 31, p. 95—121. (Exposé critique des travaux récents.)
- FRIEDRICH LAIBACH. Über die Auslösung von Kallus und Wurzelbildung durch Indolylessigsäure. Ber. d. bot. Ges., 1935, 53, p. 359—364.
- , GÜNTER MAI und A. MÜLLER. Über ein Zellteilungshormon. Die Naturwiss., 1934, 22, p. 288.
- ANDRÉ et MARG. LWOFF. Sur la nature du facteur V. C. R. Acad. Sc. Paris, 1936, 203, p. 503.
- Studies on Co-dehydrogenases. Proc. Roy. Soc. London, 1937, B, 122, p. 352—373.
- ANDRÉ LWOFF. Etude sur les fonctions perdues. Ann. fermentations, 1936, 2, p. 419—427.
- R. POHL. Über den Endospermwuchsstoff und die Wuchsstoffproduktion der Koleoptilspitze. Planta, 1935, 53, p. 661—668.
- WILLIAM-HENRI SCHOPFER. Etude sur les facteurs de croissance. Action de la vitamine B₁ et de l'extrait de germes de blé sur *Rhizopus* et d'autres Mucorinées. Zeitschr. f. Vitam.-Forsch. 1935, 4, p. 187—206.
- et ALBERT JUNG. L'action des produits de désintégration de l'aneurine sur *Phycomyces*. Le second facteur de croissance de Mucorinées. C. R. Ac. Sc. Paris, 1937, 204, p. 1950.
- R. SNOW. Activation of cambial Growth by pure hormones. The New Phytologist. 1935, 34, p. 347—360.

- R. SNOW and B. LE FANU. Activation of cambial Growth by pure hormones. *Nature*, 1935, 135, p. 876.
- HANS SÖDING. Über den Einfluss von Wuchsstoff auf das Dickenwachstum der Bäume. *Ber. d. bot. Ges.*, 1936, 54, p. 291—304.
- Wuchsstoff und Kambiumtätigkeit der Bäume. *Jahrb. wiss. Bot.*, 1937, 84, p. 639—670.
- K. V. THIMANN and J. B. KÖPFLI. Identity of the Growth promoting and root forming substances of Plants. *Nature*, 1935, 135, p. 101—102.
- and WENT. On the chemical nature of root forming hormone. *Proc. Kon. Acad. Wetensch. Amsterdam*, 1934, 37, p. 456—459.
- P. W. ZIMMERMANN and F. WILCOXON. Several chemical growth Substances which cause inhibition of roots and other responses in plants. *Contr. Boy. Thomps. Inst. Plant Res.*, 1935, 7, p. 439—445.
- W. A. ZIMMERMANN. Untersuchungen über die räumliche und zeitliche Verteilung des Wuchsstoffes bei Bäumen. *Zeitschr. f. Bot.*, 1936, 30, p. 209—252.
- F. W. WENT. Wuchsstoff und Wachstum. *Rec. Trav. bot. néerl.*, 1928, 25, p. 1—116.