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: 107 (1926)

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

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 22.11.2025

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

Discours d'introduction
du Président annuel
et
Conférences principales

Eröffnungsrede
des Jahrespräsidenten
und
Hauptvorträge

Discorso inaugurale
del Presidente annuale
e
Conferenze principali

Leere Seite
Blank page
Page vide

Discours d'ouverture du Président annuel

par

Sévérin Bays (Fribourg).

Mesdames, Messieurs et chers Collègues,

C'est la cinquième fois que Fribourg a l'honneur et la joie de vous recevoir, la cinquième fois que dans ses cent-onze ans d'existence la Société Helvétique des Sciences Naturelles vient tenir dans nos murs cette assemblée sévère et imposante qu'est sa session annuelle. Nous en sommes heureux; en particulier la Société fribourgeoise des Sciences Naturelles est heureuse du retour de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, de cette mère qui lui est chère, devenue avec le temps puissante et belle et qu'elle ne voit qu'à de trop longs intervalles.

Fribourg n'a pour vous recevoir, en ne remontant qu'aux sessions des trois dernières années, ni les avantages comme Aarau des firmes industrielles des bords de l'Aar, ni l'attrait comme Lucerne d'un lac bleu enchassé comme une perle dans la bordure de nos Alpes, ni une situation privilégiée comme Zermatt devant des glaciers étincelants, au pied d'un de nos sommets géants.

Fribourg n'a hélas! (et vous me permettrez ici de reprendre les termes mêmes de l'invitation que nous vous adressions au début de mai) pour votre *agrément,* que ses vieilles rues pittoresques, sa Sarine encaissée avec ses ponts qui l'enjambent et une vallée charmante dans ses préalpes vertes; pour votre *science,* que sa jeune université déjà prospère et son intellectualité un peu à part, mais forte et vivace; pour votre *cœur,* que sa bonne et franche cordialité, qu'une compréhension égale et une amitié profonde pour ses compatriotes des trois races: Suisses allemands, Suisses français et Suisses du Tessin.

Est-ce assez pour vous bien recevoir? Nous l'espérons. Nous pouvons vous assurer du moins que nous avons cherché à mettre

tout en œuvre, dans l'organisation de ces quatre journées qui commencent, pour que vous y soyez accueillis, intéressés et récréés d'une façon qui vous convienne, qui convienne à la dignité de la Science suisse que vous représentez ici.

Avant d'entrer dans le sujet même de mon discours qui sera un retour plus complet encore dans le passé, permettez-moi deux retours partiels dans le passé de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Permettez-moi d'abord de vous rappeler les noms des présidents annuels qui dirigèrent vos quatre sessions précédentes dans nos murs: celui du R. P. G. Girard qui présida la session annuelle du 24 août 1840, et dont la statue sur la place à cinquante mètres d'ici me semble avoir encore le geste d'accueil distingué et bienveillant avec lequel sans doute il accueillait, il y a quatre-vingt-six ans, nos devanciers; celui du Dr Jean-Baptiste Thürler qui présida la session du 19 août 1872; celui surtout de notre vénéré Dr Maurice Musy, professeur, ici présent, qui présida vos deux dernières sessions, du 18 août 1891 et du 28 juillet 1907, que le Comité annuel a choisi à juste titre comme son président d'honneur pour cette troisième session et à qui nous présentons ici l'hommage de reconnaissance et de respect dû à un vétéran zélé et enthousiaste de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

Permettez-moi ensuite de vous rappeler les noms des deux seuls collègues de ma branche, si je ne fais erreur, qui furent présidents annuels de la S. H. S. N.[1]: celui de Daniel Huber, professeur de mathématiques à l'Université de Bâle, en 1821, et celui de François-Xavier Bronner, professeur de mathématiques à l'Ecole cantonale d'Aarau, en 1823. Les cent-trois ans qui me séparent d'eux me rendent timide et m'effrayent de mon insuffisance pour ouvrir dignement ce congrès de naturalistes, dont une bonne partie sans doute est étrangère aux spéculations mathématiques. Cette raison, le fait que ni l'un ni l'autre de mes devanciers n'a abordé ce sujet, l'exemple aussi de Peter Merian qui, à Bâle en 1838, ouvrait ce même congrès (notre 23e session annuelle) par un dis-

[1] Le Dr C. F. Geiser, ancien professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, fut mieux que président annuel; il fut président central de la S. H. S. N. de 1899 à 1904. Mais de même que dans l'exposé qui suivra, je ne parle que des mathématiciens qui furent et ne sont plus, un autre dira un jour les services considérables rendus par le professeur Geiser à la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

cours sur les *naturalistes* suisses du passé (naturalistes au sens large du mot), m'ont engagé à essayer de vous faire, dans ce temps que j'ai à ma disposition, un tableau plus restreint, mais aussi plus complet des *mathématiciens* suisses du passé. Je m'arrêterai aux mathématiciens suisses morts avant 1900; ainsi nombre de noms et non des moindres seront laissés de côté. Mais ma tâche reste encore bien assez grande; un certain recul d'ailleurs est nécessaire pour juger de la valeur de l'œuvre d'un homme.

Ainsi restreint dans le temps, le ciel mathématique de l'Helvétie est constellé d'étoiles que j'appellerai de troisième et quatrième grandeur. Je me sers intentionnellement de cette comparaison parce que, dans un ordre de grandeurs donné, les grandeurs sont toutes relatives et sans avoir encore, évidemment en aucune façon, la prétention de vouloir donner à ma classification même un sens absolu. Un nombre respectable d'étoiles m'y paraissent être de seconde grandeur, et deux astres y luisent qui sont de première grandeur, le Bâlois Leonhard Euler et le Bernois Jacob Steiner. Et en plus, dans ce ciel, une constellation brille: celle des sept Bernouillis dont trois sont presque des astres de première grandeur.

* * *

Ce qui fait la luminosité et la beauté du firmament, c'est autant le scintillement des myriades d'étoiles piquées, parfois comme d'imperceptibles clous d'or, dans sa voûte azurée, que la lumière éclatante des quelques étoiles de première grandeur. Il en est peut-être de même dans notre cas; quoiqu'il en soit, j'ai plus d'une raison pour commencer la description de mon ciel par nommer ces étoiles très nombreuses de quatrième et troisième grandeurs.

Ce sont **au XVIe siècle:**

les deux *Simon Grynaüs* de Bâle, l'un qui donna les premières éditions originales des Eléments d'Euclide et de l'Almageste de Ptolémée, l'autre qui fut professeur de mathématiques à Heidelberg et d'éthique à Bâle.

Christian Wursteisen de Bâle, professeur de mathématiques et d'astronomie à l'Université de Bâle, qui fut surtout historien, mais publia aussi pour son enseignement un traité d'arithmétique et une édition de la Théorie des planètes de Purbach avec commentaires. Il eut pour élève Tycho-Brahé.

Sébastien Münster de Bâle, le célèbre moine franciscain, né en 1489, passé à la Réformation vers 1525, professeur de l'Ancien Testament et d'hébreu à l'Université de Bâle. Sans compter qu'il fut dans les premiers philologues orientalistes de son temps, il eut également comme mathématicien et cosmographe une activité extraordinaire. Par trois grands ouvrages sur les cadrans solaires, il est le père de l'abondante littérature parue sur ce sujet du XVIe au XVIIIe siècle. Dans son célèbre traité de Cosmographie dont le premier livre a déjà quelques éléments de géographie mathématique, il réédite sa carte de la Suisse qui, bien que fruste et incorrecte, n'en est pas moins la première carte géographique parue de la Suisse et la meilleure de son temps.

Dasypodius de Frauenfeld qui fut de 1562 jusqu'à sa mort en 1600 professeur de mathématiques à l'Académie de Strasbourg. Son mérite fut non seulement d'avoir poussé à l'étude des mathématiques grecques, mais d'avoir mis par des éditions nombreuses et sous formes diverses, les mathématiciens grecs, en particulier les œuvres d'Euclide, à portée du public. Il avait le projet de faire une édition complète munie des commentaires nécessaires de toutes les œuvres mathématiques des Grecs, mais il ne parvint pas à le réaliser. Il s'occupa aussi d'astronomie pratique et théorique, moins également comme inventeur que comme commentateur et éditeur. Mais son œuvre la plus connue est la construction de la célèbre horloge de Strasbourg qui, pour son temps, fut un chef-d'œuvre et passait pour l'une des sept merveilles de l'Allemagne. Elle marcha sans un accroc jusqu'au commencement du XVIIIe siècle.

Michel Varro de Genève qui fut secrétaire d'Etat, puis conseiller et enfin syndic de Genève en 1582. En 1584 parut son ouvrage: *De motu tractatus* dans lequel, penseur profond et habile calculateur, il se montre jusqu'à un certain point le devancier de Galilée et de Newton. On peut aller même jusqu'à dire que si Varro avait rectifié et basé ses théories par des expériences, son nom serait peut-être aujourd'hui par cet ouvrage en tête de l'histoire de la mécanique. Il composa d'autres ouvrages encore dont les titres seuls nous sont parvenus: *De jactu, de condensatione et rarefactione earumque causis; Tractatus de variis machinis ad motus ciendos,* etc. Il fut un théoricien, peut-être de génie, mais ne consulta pas la nature par l'expérience. Vers 1602, Galilée énonçait les lois exactes de la pesanteur vérifiées par une série

d'expériences et le mécanicien genevois et ses mémoires tombaient dans l'oubli.

Dans la transition **du XVIe au XVIIe siècle,** ce sont:

le Jésuite *Paul Guldin de St-Gall.* Après un long séjour à Rome, il fut professeur de mathématiques à l'Université de Vienne et à Gratz où il mourut. Il est connu par les deux théorèmes de mécanique qui portent son nom et qu'il publia dans le quatrième livre de son traité: *De centro gravitatis,* les empruntant d'ailleurs à Pappus, sans même le mentionner. Mais ces théorèmes étaient inconnus antérieurement et ils excitèrent à cette époque un intérêt considérable.

Barthélemy Souvey de Crésus (Fribourg), né à Corbières probablement en 1577. Il fit ses études aux Collèges de Fribourg et de Milan, fut précepteur à Turin, puis attaché à l'Université des ducs de Savoie. En 1624, il était nommé à la chaire de mathématiques de Padoue, succédant à Camille Gloriosus, lui-même successeur immédiat de Galilée. Son ouvrage principal, un traité de Géométrie de 436 pages in-4°, paru en 1630 sous le titre: *Curvi ac recti proportio,* ne fut pas sans importance, puisque une longue querelle s'en suivit entre Guldin et Cavalieri, Guldin accusant Cavalieri d'avoir tiré le principe de sa méthode des *indivisibles* de l'ouvrage de Souvey. On sait aujourd'hui que l'accusation de Guldin était fausse, car Cavalieri était en possession de sa méthode dès 1626. Elle n'en reste pas moins indirectement un éloge pour l'ouvrage de Souvey, si bien qu'il n'est peut-être pas exagéré de dire que Souvey a également mis un anneau, modeste sans doute, dans ce chaînon d'idées qui, attaché par Archimède, a conduit à la découverte du calcul infinitésimal.

Joost Bürgi de Lichtensteig (St-Gall). Il fut probablement un simple artisan dans son jeune âge, mais devint par son travail personnel et un goût et des facultés exceptionnelles pour la mécanique et les mathématiques un technicien habile et un savant astronome et mathématicien. En 1579, il est horloger de Cour à Cassel auprès du célèbre prince astronome Guillaume IV, Landgrave de Hesse. A la mort de ce dernier, il passe dans le même emploi à la cour de l'empereur Rodolphe II à Prague où il vécut de 1603 jusqu'à peu de temps avant sa mort, survenue en 1632 à Cassel, où il était retourné. A Prague il connut Kepler et s'en fit grandement apprécier. Sur un récit de Joachim Becher, on a même attribué à Bürgi

l'invention du pendule pour régler la marche des horloges; mais c'est probablement à tort, et il faut laisser la gloire de cette remarquable découverte à Huyghens. Par contre, Bürgi est l'inventeur du compas à trois pieds, d'un instrument primitif de triangulation et surtout, avec Galilée et indépendamment de lui, du compas de réduction. Il fut astronome aussi, observateur patient et zélé à Cassel et à Prague et se garda vivement de faire de l'astrologie. A une question de Wallenstein de cette nature, il répondit: « Das sind Absurditäten, die nur für Esel und Dummköpfe passen. » Il fut surtout mathématicien; on sait maintenant que l'invention des logarithmes qui peut compter pour une des plus belles découvertes des mathématiques au XVIIe siècle, est due aussi bien au Suisse Joost Bürgi qu'à l'Anglais Neper. Le canon logarithmique de Neper parut en 1614; les tables de logarithmes naturels à base *e* de Bürgi parurent six ans plus tard, mais il est maintenant prouvé que Bürgi a construit ses *Progress Tabulen,* comme il les appelle, en tout cas d'une façon entièrement indépendante de celles de Neper, sinon antérieurement à 1614.

Au XVIIe siècle, c'est le pasteur *Michel Zingg de Glaris* qui ayant un goût particulier pour les mathématiques et l'astronomie, construisit une horloge astronomique si perfectionnée, que le gouvernement de Zurich le fit pour cela bourgeois de la ville et lui confia l'enseignement des mathématiques au gymnase de Zurich.

Rodolphe de Graffenried de Berne qui, à côté de fonctions civiles importantes, s'occupa assidument de mathématiques et d'astronomie, fit un traité d'arithmétique dédié au « Schultheiß und Rath der Stadt Bern » et un écrit sur les cadrans solaires.

Conrad Gyger de Zurich, le premier inventeur de l'art de peindre sur verre avec des couleurs à l'huile. Il s'occupa aussi de mathématiques appliquées et fut surtout un maître en topographie. Il fit une carte du canton de Zurich qui est un chef-d'œuvre pour son époque.

Jean Ardüser de Davos. Il fut ingénieur militaire et mathématicien. Reçu bourgeois et ingénieur de la ville de Zurich, il construisit de 1642 à 1661, de concert avec l'ingénieur Jean-Georges Werdmüller, un système complet de fortifications de la ville de Zurich. Il fit un traité de Géométrie théorique et pratique en douze livres dans lesquels « die geometrichen Fundament Euclidis, und derselben gebrauch, auf das kurtzest und leichtest, als in einem

Handbuch beschrieben werden.» Si son traité ne faisait pas progresser effectivement la science de la géométrie, il n'en avait pas moins une certaine valeur pour ce temps-là.

Jean-Henri Rahn de Zurich. Appartenant à l'une des familles les plus en vue de Zurich à cette époque, il eut de nombreuses et hautes charges dans l'Etat. Il lui resta cependant quelques loisirs pour s'occuper de mathématiques et d'astronomie, branches dans lesquelles il avait reçu, soit à Zurich, soit à l'étranger, une formation complète. Il publia entre autres sa «Teutsche Algebra» ou «Algebraischen Rechenkunst», dans laquelle au sujet de la théorie des équations, il dit qu'une équation peut avoir autant de racines que l'indique son degré, que ces racines sont ou «affirmat» ou «negat» ou «ganz absurd oder unmöglich». Il dit n'être pas d'accord avec Descartes qui appelle les racines negat «radices falsas», parce qu'elles ne lui paraissent pas moins vraies que les affirmat. Il considère également les racines ganz absurd comme existantes et les note d'un certain signe. Il dit même: «So viel eine Aequation dimensiones oder vermögen hat, so vil mag sie dividiert werden durch ein binomium, bestehend aus der unbekanten quantitet und der wurzel.»

Entre le XVIIe et le XVIIIe siècle, c'est *François-Frédéric de Treytorrens d'Yverdon,* qui occupa la chaire de philosophie et de mathématiques de l'Académie de Lausanne de 1717 à 1737, dans le temps où J.-P. de Crousaz fut à l'Université de Groningue et gouverneur du prince de Hesse-Cassel. Il se fit connaître par un volume publié en 1725 renfermant deux traités, l'un de géométrie, l'autre de trigonométrie rectiligne et par deux mémoires mathématiques qu'il présenta à l'Académie des Sciences de Paris.

Jacques Hermann de Bâle, élève remarquable de Jacques Bernouilli, parent d'Euler, qui s'acquit de bonne heure l'amitié de Leibnitz par un écrit sur les principes du calcul différentiel et correspondit avec lui. Sur la proposition de Leibnitz, il fut reçu dans l'Académie de Berlin en 1701; il fut professeur de mathématiques à Padoue en 1707, ensuite à Francfort sur l'Oder en 1713 et travailla là son principal ouvrage sur la mécanique. Enfin il fut appelé en 1724 à St-Petersbourg comme professeur de mathématiques supérieures et donna des leçons de mathématiques au petit-fils de Pierre-le-Grand.

Nicolas Fatio de Bâle, appelé aussi *de Duillier,* car son père acheta peu après la naissance de son fils la seigneurie de Duillier dans le canton de Vaud et acquit plus tard la bourgeoisie de Genève.

De bonne heure il s'occupa d'astronomie. A 17 ans il écrivait à Cassini une lettre qui renfermait un essai sur la détermination de la parallaxe solaire avec une hypothèse pour expliquer l'anneau de Saturne. Il fit des observations et des recherches principalement sur la lumière zodiacale et en donna dès 1684 une explication qui se rapproche beaucoup de celle généralement adoptée aujourd'hui.

Mais les mathématiques pures restèrent sa branche de prédilection. En 1687 il fit paraître des *Réflexions sur une méthode de trouver les tangentes de certaines lignes courbes,* mémoire au sujet duquel Leibnitz et Chasles se sont exprimés d'une façon très élogieuse pour Fatio.

Il proposa aux savants de son temps diverses questions, dont plusieurs furent résolues par Jean Bernouilli. L'une est le problème de la détermination de l'enveloppe des paraboles de tir avec une vitesse initiale donnée. Ce fut le premier exemple de la détermination de l'enveloppe d'une famille de lignes courbes.

Après avoir été longtemps lié avec Leibnitz et Jean Bernouilli, Fatio se brouilla avec eux à la suite d'un incident, raconté par Joseph Bertrand dans la préface de son Traité de calcul différentiel et intégral, incident qui donna lieu à un écrit de Fatio publié en 1699, dans lequel il déclare, entre autres, que lui-même en 1687 a trouvé par ses propres méditations les principes et les règles principales du calcul des fluxions, inventé par Newton et dont «Leibnitz, dit-il, n'est pas même le second inventeur, comme le savent ceux qui connaissent la correspondance de Newton et certaines pièces manuscrites».

C'est là l'origine, paraît-il, de la polémique passionnée et pleine d'aigreur qui pendant plus de cinquante ans mit aux prises les disciples de Leibnitz et de Newton sur la question de la priorité de l'invention du calcul infinitésimal.

Malheureusement pour lui et pour les mathématiques aussi, Fatio se laissa aller, sur la fin de sa vie, à des exagérations religieuses qui le détournèrent de la science, le couvrirent de ridicule et il mourut en Angleterre dans l'obscurité en 1753, âgé de près de 90 ans.

« **Le XVIIIe siècle** *est notre âge d'or* », a dit Alexandre Daguet dans son Histoire de la Confédération suisse, « dans lequel de tous les coins de la terre helvétique on voit surgir, comme par enchantement, des hommes de génie ou d'un talent supérieur. » C'est aussi notre âge d'or pour les sciences mathématiques ; vous allez le voir, vous le verrez mieux encore dans quelques instants lorsqu'il sera question des étoiles mathématiques plus importantes. Dans les astres de quatrième et troisième grandeur que je nomme, ce sont pour la Suisse *allemande d'abord :*

Jean-Joachim Girtanner de St-Gall, qui fut de 1776 à 1800 professeur de mathématiques et de calligraphie au gymnase de St-Gall. Il publia un traité de calcul, des tables de logarithmes et des recherches sur les règles de Cardan et Bombelli.

Jean-Henri Waser de Zurich, qui fut le plus doué et le plus malheureux des élèves de Jean Gessner. Il eut comme membre de la Société des Sciences Naturelles de Zurich, fondée en 1747 par Jean Gessner, une activité scientifique exceptionnelle en sciences mathématiques et physiques. Hélas ! comme pasteur (il avait étudié la théologie également), il eut des démêlés avec ses autorités religieuses et civiles tels qu'ils le conduisirent d'une façon certainement imméritée à l'échafaud, le 27 mai 1780.

Jean Gessner de Zurich, le grand médecin et botaniste, qui fut aussi un mathématicien. Il suivit, en particulier, avec Albert de Haller qui fut son compagnon et ensuite son ami intime, Frédéric Moula et Jean II Bernouilli, un Collegium privatissimum in geometria, analysi finitorum et infinitorum de Jean Bernouilli. Il eut la chaire de mathématiques et de physique à Zurich de 1733 à 1778, et publia : deux mémoires sur la trigonométrie plane et sphérique, un traité contenant les principaux concepts et théorèmes du calcul différentiel et intégral et de la mécanique, un mémoire sur la mortalité avec des tables et enfin un mémoire de géographie mathématique intitulé : *Von der Grösse und Lage der Stadt Zürich.*

Christophe Jetzler de Schaffhouse, qui fut pelletier d'abord comme son père, puis alla étudier les mathématiques à Berlin où il fut élève d'Euler. Il revint à Schaffhouse, y fut d'abord architecte de ville, puis inspecteur des forêts et, pour quelque temps, professeur de mathématiques au gymnase de la ville, à la mort de Thomas Spleiss. Ce fut un homme d'une raideur excessive, idéaliste et humanitaire. Malgré qu'il ne publia rien, il fut un homme ayant

des connaissances et des relations scientifiques très étendues, acquises dans de longs et nombreux voyages.

Thomas Spleiss de Schaffhouse. La famille des Spleiss, ou pour rester dans ma manière de parler, la constellation des Spleiss de Schaffhouse, fournit quatre professeurs de mathématiques, tous remarquables, au gymnase de Schaffhouse: de 1650 à 1693 Etienne Spleiss qui publia plusieurs petits écrits d'astronomie et de mathématiques appliquées et était connu et apprécié de Leibnitz et des Bernouillis; de 1697 à 1716, David Spleiss qui fut en même temps un naturaliste distingué; de 1716 à 1728 Jean-Jacques Spleiss et enfin de 1728 à 1775, le plus important des quatre, Thomas Spleiss, compagnon d'Euler à Bâle et avec lui un des meilleurs élèves de Jean Bernouilli. Il soutint une thèse de physique mathématique sur la propagation de la lumière. Il ne publia pas d'autres travaux mathématiques, mais fut un constructeur habile de cadrans solaires, de globes et de planétaires, et Jean III Bernouilli l'appelle le plus grand calligraphe qui ait peut-être jamais existé.

Samuel König de Berne. Il fut à Bâle élève remarquable de Jean Bernouilli avec Maupertuis et Clairaut, et avec Jacques Hermann s'initia à la philosophie de Leibnitz. Il alla en poursuivre l'étude auprès de Wolf à Marbourg, puis revint à Berne, puis voyagea encore. Il fut un certain temps à Paris, ou plutôt tantôt à Cirey, tantôt à Paris, auprès de la célèbre Marquise du Chatelet, et lui aida, dit-on, à composer ses ouvrages. Il revint encore à Berne, puis accepta la chaire de mathématiques à l'Académie de Franecker en Hollande. Il fut enfin attiré par le prince d'Orange à sa cour même, à La Haye, et eut la chaire de philosophie à l'Académie de La Haye jusqu'à la fin de sa vie, dans une situation influente et brillante, pareille à celle de Leibnitz aux cours de Hanovre et Berlin. Samuel König fut philosophe et mathématicien; il publia peu en mathématiques en dehors de ses quelques mémoires et écrits de controverse dans sa célèbre querelle avec Maupertuis sur le principe de la moindre action, querelle qui fut moins une affaire de mathématiques que celle d'un amour-propre exagéré, celui de Maupertuis.

Jean-Georges Sulzer de Winterthur. Il eut également une carrière brillante, assez pareille à celle de Samuel König. Il était à 30 ans déjà membre de l'Académie de Berlin. Il eut dans la dernière partie de sa vie la chaire de philosophie à la Ritter-

académie de Prusse, à laquelle il avait été appelé par le roi. Il fut plus philosophe et moins mathématicien que Samuel König.

Enfin, pour que la Suisse n'ait rien à envier aux autres nations, elle eut aussi, Mesdames, sa femme mathématicienne. C'est:

Barbara Reinhart de Winterthur. Rendue gravement infirme par une chute de cheval dans sa jeunesse et ayant des dispositions spéciales pour les mathématiques, elle les étudia d'abord avec l'aide du médecin qui la soignait et ensuite par elle-même. Nous n'avons pas d'écrits d'elle; mais nous savons par ses lettres à Jetzler qu'elle annotait les œuvres de Newton, Euler, Muschenbroeck, Cramer et Lalande. Jetzler la plaçait très haut comme mathématicienne. Jean III Bernouilli dans ses *Lettres sur différents sujets,* dit: « Winterthur a même produit une savante qu'on peut mettre à côté d'une Marquise du Chatelet, d'une Agnesi et d'autres. » Mais le meilleur témoignage et le plus compétent est sans doute celui de Daniel Bernouilli avec lequel elle correspondait et qui la déclarait supérieure aux mathématiciens de son temps, Euler, Clairaut et peu d'autres exceptés.

C'est *ensuite* pour la Suisse *française*:

Nicolas de Béguelin de Courtelary, qui fut professeur de mathématiques au collège de Joachimthal à Berlin, précepteur du futur roi Frédéric-Guillaume II, plus tard membre de l'Académie de Berlin et directeur de la classe philosophique. Les Mémoires de Berlin et les Annales de Bode contiennent un certain nombre de ses communications scientifiques, touchant plutôt des sujets optiques, météorologiques et philosophiques.

Frédéric Moula de Neuchâtel, qui fut professeur de mathématiques à St-Petersbourg. On a de lui un seul écrit relatif au calcul des probabilités.

Jean-Louis Calandrini de Genève. Il fut l'ami intime de G. Cramer dont nous parlerons bientôt et suivit jusqu'en 1750 une carrière pareille à la sienne, quoique moins brillante au point de vue scientifique. Les deux amis eurent en commun la chaire de mathématiques de l'Académie de Genève de 1724 à 1734. En 1734 Calandrini prit la chaire de philosophie conjointement avec Amédée de la Rive et en 1750 renonça presque subitement à son enseignement et à ses travaux, pour entrer au Petit Conseil et devenir le trésorier éclairé et plein de zèle de la République de Genève.

Son œuvre en mathématiques la plus importante est l'édition latine qu'il donna des *Principes* de Newton commentés par les Pères Le Seur et Jacquier de l'ordre des Minimes, à laquelle il ajouta plusieurs chapitres personnels et importants, entre autres ses réflexions sur les *Sections coniques,* sur la *Théorie des résistances* et le *Système des tourbillons.* Dans la célèbre controverse entre les partisans de Huyghens et de Newton qui soutenaient que la terre était aplatie aux pôles et ceux d'Eisenschmidt, Maraldi et des Cassini qui affirmaient, se basant sur des mesures erronées, que cet aplatissement se manifestait au contraire dans les régions équatoriales, Calandrini donna une voie mathématique très simple pour trancher la question.

Il était d'une grande modestie. Il avait découvert longtemps avant Euler, Clairaut et d'Alembert une faute échappée à Newton dans ses calculs sur le mouvement de l'apogée lunaire. Par un hasard heureux pour lui, G. Cramer se trouvait à Paris, à l'Académie des sciences, lorsque Clairaut lut le mémoire où il prétendait avoir constaté le premier la faute commise par Newton. Cramer, prenant alors la parole, déclara que son compatriote et ami Calandrini avait trouvé la même chose quelques années auparavant. Il lui écrivit là-dessus pour l'engager à publier immédiatement les résultats de ses recherches sur ce sujet, mais ce fut peine inutile. Il n'en put rien obtenir.

Suivant Senebier,[1] Calandrini aurait laissé, à côté de nombreux mémoires publiés, dont je ne puis parler faute de temps, plusieurs manuscrits importants, entre autres un sur la manière de trouver les Fluentes.

Louis Necker de Genève, frère du célèbre ministre des finances de Louis XVI. Elève de d'Alembert, il eut la chaire de mathématiques de l'Académie de Genève de 1757 à 1761, pendant un temps trop court, au dire de Simon Lhuilier. Membre correspondant de l'Académie des sciences de Paris, il publia plusieurs mémoires dont les deux plus importants sont ses *Theses de Electricitate* et ses *Solutions de quelques problèmes de mécanique.* Il donna, entre autres, une solution ingénieuse du problème de la courbe isochrone.

---

[1] Jean Senebier (1742—1809), auteur de *l'Histoire littéraire de Genève.* Genève 1786, 3 vol. in-8°.

Les deux Georges-Louis Lesage, père et fils. Le père, originaire de la Bourgogne, publia de nombreux ouvrages dont un *Cours abrégé de physique* et des *Elémens de Mathématiques.* Le fils dépassa le père et reçut de la République de Genève, poussée par l'admiration et la reconnaissance, le droit de bourgeoisie. Il était membre correspondant de l'Académie des sciences de Paris, associé étranger de la Société royale de Montpellier et de celle de Londres, de l'Institut de Bologne et de Sienne. La plupart de ses mémoires traitent de la pesanteur et de l'attraction universelle. Il fut physicien plus que mathématicien.

Jacques-André Mallet de Genève. Il fut élève de Louis Necker à Genève et de Daniel et Jean II Bernouilli à Bâle. Il publia d'abord deux mémoires dans les Acta helvetica sur des recherches concernant le calcul des probabilités; puis, après un long voyage en France et en Angleterre dans lequel il se lia avec Lalande et Maskelyne, il se voua surtout à des travaux d'astronomie pratique.

Il fut nommé en 1771 à la chaire d'astronomie nouvellement créée à l'Académie de Genève. De sa collaboration avec ses deux aides, Jean Trembley et Marc Pictet, sortit une foule de travaux qui excitèrent l'admiration de Lalande lui-même. Par lui, Genève fut la première ville qui adopta l'heure moyenne vers 1780, devançant ainsi de dix-huit ans le congrès astronomique de Gotha. Mallet fut astronome plus que mathématicien.

Jean Trembley de Genève, l'aide et le collaborateur de Mallet. Il commença par être avocat et ensuite se voua aux sciences exactes. Son ouvrage le plus connu est son: *Essai de trigonométrie sphérique, contenant diverses applications de cette science à l'Astronomie.* Il publia en outre dans diverses revues savantes un nombre considérable de dissertations sur le calcul des probabilités, les séries, l'analyse indéterminée, l'intégration des équations différentielles, et la mécanique. Séduit par les théories philosophiques de Jean-Henri Lambert, il publia en 1780 un *Exposé des points fondamentaux de la doctrine des principes de Lambert.* Bien que collaborateur de Mallet, il fut mathématicien beaucoup plus qu'astronome.

Louis Bertrand de Genève. Il fut un mathématicien pur. Elève d'Euler et membre de l'Académie de Berlin, il succéda à Louis Necker dans la chaire de mathématiques de l'Académie de

Genève et l'occupa pendant trente-cinq ans. Il publia un traité important intitulé: *Développement nouveau de la partie élémentaire des mathématiques prise dans toute son étendue.* Le traité est en effet étendu et même diffus; pourtant Senebier, déjà cité plus haut, ne craint pas d'affirmer qu'il y a peu d'ouvrages qui soient plus propres à former de bons maîtres de mathématiques. Peu avant sa mort en 1812, il termina un second traité également important intitulé: *Eléments de Géométrie.* Mais à son nom est attaché surtout une théorie *des droites parallèles,* théorie qui n'a plus guère aujourd'hui que l'intérêt d'avoir été un essai de plus de démontrer l'indémontrable postulat d'Euclide, bien que Legendre en parle en termes très élogieux dans une note de la seconde édition de ses *Eléments de Géométrie.* Elle eut aussi le mérite d'être le point de départ pour Lobatschefsky pour rejeter précisément d'une façon définitive toute possibilité de démonstration du célèbre postulat.

Dans *la transition* **entre le XVIIIe et le XIXe siècle** je citerai: *Robert Argand de Genève.* Son nom est non seulement, comme ceux de Jean-Henri Rahn déjà vu et de Jean-Pierre de Crousaz que nous rencontrerons bientôt, et avec beaucoup plus de raison encore, dans ceux qui sont à l'origine de l'introduction du nombre imaginaire en mathématiques, mais il est également dans les devanciers de la théorie des quaternions et de la théorie actuelle des vecteurs. Argand donna dans son *Essai sur une manière de représenter les quantités imaginaires dans les constructions géométriques* paru en 1806, à peu de chose près la représentation géométrique actuelle du nombre complexe, au moyen d'un vecteur de longueur égale à sa valeur absolue et faisant avec l'axe des x un angle égal à son argument. Son Essai passa inaperçu. Le procédé qu'il contenait fut réinventé une vingtaine d'années plus tard par Mourey en France et John Warren en Angleterre. Sans qu'il le sut, il n'en était pas d'ailleurs non plus le premier inventeur. C'est à un mémoire du mathématicien danois Wessel, présenté à l'Académie des sciences de Kopenhagen en 1797, qu'il faut faire remonter la première représentation géométrique complète des nombres imaginaires.

Nicolas Fuss de Bâle, le jeune mathématicien qui eut l'insigne honneur d'être l'adjoint intellectuel au vieil Euler, devenu aveugle dans les dix dernières années de sa vie de 1773 à 1783,

l'exécuteur de ses réflexions et des calculs qu'il projetait sans cesse et le rédacteur d'un grand nombre de ses ouvrages. Le 25 janvier 1785, Jean-Louis Spleiss écrivait de St-Petersbourg à Jetzler cet éloge de Fuss, significatif bien qu'il ne se soit pas vérifié: «Les connaisseurs disent qu'il deviendra avec le temps l'honneur de sa ville natale et son nom aussi célèbre que ceux des Bernouillis et d'Euler.»

Jean-Caspar Horner de Zurich, qui fut surtout un astronome. Lorsqu'il fut rentré à Zurich après treize ans d'absence, dont les premiers passés à l'observatoire sur le Seeberg près de Gotha, comme adjoint de l'astronome baron de Zach, ensuite trois autres comme astronome dans une expédition géographique sur toutes les mers du monde et après avoir ensuite refusé l'offre qu'on lui faisait d'une chaire d'astronomie à l'Université de St-Petersbourg, il fut assez longtemps professeur de mathématiques et de logique au Collegium humanitatis de Zurich et entra ensuite dans les hautes charges de l'Etat. Son activité scientifique s'étendit non seulement à l'astronomie pratique, à la physique expérimentale et à la météorologie, et leur fournit à chacune des contributions, mais aussi aux mathématiques pures et appliquées. En mathématiques pures, il publia un mémoire personnel et d'un intérêt particulier sur la génération des coniques et un autre sur la construction des polyèdres réguliers. En mathématiques appliquées, outre ses calculs astronomiques, il s'occupa de la triangulation de la Suisse et fut un ardent promoteur du système métrique des poids et mesures.

Ferdinand-Rodolphe Hassler d'Aarau. Elève de Tralles, hambourgeois, professeur de mathématiques et de physique à Berne de 1785 à 1803, connu principalement par ses travaux de triangulation partant d'une ligne de base établie dans les Grands Marais près d'Aarberg, Hassler fut également un géodésien. Il fut d'abord l'aide de Tralles dans ses travaux; puis après passablement de vicissitudes, entre autres la faillite d'une société par actions qu'il avait constituée pour l'achat de grands terrains en Louisiane, il finit par mener encore à peu près complètement à chef avant sa mort de grands travaux de triangulation dont il avait été chargé à deux reprises par le gouvernement des Etats-Unis, englobant en particulier la mensuration de toutes les côtes et ports de l'Union et les sondages nécessaires: une œuvre de géant selon l'expression d'un article nécrologique paru peu de temps après sa mort et qui

lui valut l'estime et la considération de Bessel, Arago, Herrschel et d'autres.

Il fut quelques années professeur de mathématiques à l'Ecole militaire de West-Point dans l'Etat de New-York et dans un temps où il était aux Etats-Unis dans le besoin avec sa famille, il écrivit en anglais plusieurs ouvrages de mathématiques élémentaires qui en partie eurent plusieurs éditions.

Je citerai deux autres géomètres encore de cette époque, devanciers du général Dufour, qui firent en Suisse de la triangulation et des levées de cartes. Ce sont le pasteur *Frédéric Trechsel* de Berthoud, qui fut professeur de mathématiques et de physique à l'Académie de Berne fondée peu d'années après l'Acte de Médiation, et reprit vers 1809 les travaux de triangulation pour tout le canton de Berne, et *Jean-Frédéric Osterwald* de Neuchâtel, qui donna en 1806 sa carte de la Principauté de Neuchâtel levée de 1801 à 1806 et termina peu de temps avant sa mort en 1850 sa carte de la Suisse, au sujet de laquelle le Bureau de la guerre à Paris déclarait « qu'elle serait ce qu'on avait de mieux en ce genre ».

Et enfin restent mes deux devanciers dont je parlais en commençant. Le premier, *Daniel Huber* de Bâle, qui eut la chaire de mathématiques de l'Université de Bâle de 1791 à sa mort, survenue en 1829, et depuis 1802 fut en outre bibliothécaire de la ville de Bâle. Il se voua constamment aux mathématiques et à la philosophie, mais plus particulièrement encore à l'astronomie théorique et pratique. Il avait même été appelé en 1790, un an avant qu'il succéda dans la chaire de mathématiques à son ancien maître Jean II Bernouilli, par l'Académie de Berlin à l'Observatoire de Dantzig. En mathématiques, au dire de Jean-Bernard Merian de Bâle qui fut secrétaire de l'Académie de Berlin, Daniel Huber aurait trouvé par ses propres réflexions, avant qu'elle fut publiée par Gauss et Legendre, la méthode des moindres carrés. Mais il ne travailla pas son idée suffisamment à temps ou du moins n'en publia rien. La seule chose qui parut de lui en mathématiques pures est un petit mémoire sur une théorie des parallèles pour lequel il fut fort loué par Legendre. Il s'occupa également de la triangulation du canton de Bâle. En 1806, Daniel Huber prit part à la deuxième réunion à Berne de notre Société Helvétique des Sciences Naturelles naissante. De retour chez lui, il fonda l'année suivante

la Société des Sciences Naturelles de Bâle et en fut le président jusqu'à sa mort en 1829.

Le second, *François-Xavier Bronner,* né à Hochstädt sur le Danube et qui acquit plus tard la bourgeoisie de Matt dans le canton d'Argovie. Il fut successivement secrétaire du ministère des arts et des sciences dans le gouvernement helvétique, professeur de sciences naturelles à Aarau et à Kasan, professeur de mathématiques à Aarau, bibliothécaire de la ville d'Aarau et archiviste d'Etat. Il se fit connaître par différents mémoires scientifiques, un traité de calcul et son « Gemälde des Kantons Aargau », et par des observations météorologiques, principalement sur l'électricité atmosphérique.

Au XIXe siècle lui-même, dans les mathématiciens suisses, *morts avant 1900,* excepté les trois noms de Sturm, Schläfli et Steiner, que je me réserve pour bientôt, je n'en vois point, sauf erreur, qui s'impose d'une façon particulière. Est-ce peut-être simplement que la science devenant une denrée plus commune, a baissé de valeur sur le marché intellectuel, et que pour être digne de la consécration scientifique, il faut encore plus de talents et plus de travaux? Je citerai seulement les noms de ceux qui par leurs productions et leur activité mathématiques me paraissent placés au premier rang: *Charles Cellérier,* professeur de mathématiques à l'Université de Genève, mort en 1889; les deux astronomes genevois *Alfred Gautier* et *Emile Plantamour,* directeurs de l'Observatoire de Genève, le premier mort en 1881 et le second en 1882; le comte *Louis-Auguste de Pourtalès* de Neuchâtel, mort en 1870; *Jean-Pierre Isely* de Syens, professeur de mathématiques au gymnase cantonal de Neuchâtel, mort en 1891; les deux demi-zurichois *Charles-Henri Gräffe,* mort en 1874, et *Joseph-Louis Raabe,* mort en 1859, qui, bien que d'origine étrangère, furent tous deux, sauf erreur, reçus bourgeois de Zurich et s'y acquirent de grands mérites par leur activité professorale et scientifique; enfin et surtout le vrai zurichois *Rodolphe Wolf,* l'éminent astronome et historien d'une productivité exceptionnelle, directeur de l'Observatoire de Zurich, mort en 1893, que je pourrais nommer ici, même pour ses seuls travaux mathématiques si je n'avais une meilleure raison: le service considérable que m'ont rendu ses *Biographien* et ses *Notizen zur Kulturgeschichte der Schweiz* pour élaborer mon travail. Elles ont été mes sources avec l'Histoire des Sciences

mathématiques dans la Suisse française de L. Isely, professeur de mathématiques à l'Académie de Neuchâtel, les Histoires des mathématiques de Cantor, Rouse-Ball, Günther et Wieleitner et Boyer.

* * *

Mais j'ai hâte d'en venir aux étoiles que j'ai appelées de seconde grandeur. Elles sont bien moins nombreuses; vous me permettrez de vous les décrire un peu moins sommairement. Deux d'entre elles sont à Lausanne dans la dernière moitié du XVIIe et la première moitié du XVIIIe siècle: *Jean-Pierre de Crousaz* et *Philippe Loys de Cheseaux;* trois autres sont à Genève, naissant exactement à cinquante ans d'intervalle à partir du début du XVIIIe siècle: *Gabriel Cramer, Simon Lhuilier* et *Charles Sturm;* une sixième est à Berne au XIXe siècle: *Louis Schläfli.*

Jean-Pierre de Crousaz était fils du colonel Abraham de Crousaz et frère du bourgmestre de Lausanne, David de Crousaz. Ses parents le destinaient à l'église ou à la diplomatie, mais ses goûts naturels le portaient vers la philosophie et les mathématiques. Après un voyage fait à dix-neuf ans, ses humanités terminées, dans lequel il se lia d'amitié avec Bayle en Hollande et Malebranche à Paris, il revint au pays, épousa Louise Loys qui le rendit, par l'une de ses filles, grand'père de Philippe Loys de Cheseaux et fut nommé d'abord professeur adjoint et peu après, dès 1699, professeur titulaire de la chaire de philosophie et de mathématiques à l'Académie de Lausanne.

Pierre de Crousaz se voua corps et âme à son enseignement. « Sa maison, dit Grandjean de Fouchy, et même plusieurs de celles du voisinage étaient continuellement occupées par ses disciples, tant étrangers que du pays, presque tous de la première qualité. » Il n'en mit pas pour autant moins d'ardeur à écrire. Il composa et annota, durant cette première période de son professorat, une foule de mémoires philosophiques et mathématiques. Cinquante-deux dissertations de lui ou de ses élèves furent imprimées à Berne dans les années 1707 à 1717, constituant par leur ensemble un véritable cours de physique et d'astronomie.

Irrité et peiné de la façon d'agir de L. L. E. E. de Berne dans la question du Consensus à l'égard de l'Académie, dont il était recteur à ce moment pour la cinquième fois, il accepta en 1724

le poste de professeur de mathématiques et de philosophie qui lui était offert par l'Université de Groningue. Il le quitta au bout de deux ans pour la charge de gouverneur du jeune Frédéric, prince héréditaire de Hesse-Cassel, et en 1735 il revenait dans son pays, pourvu par le prince d'une rente qui mettait sa vieillesse à l'abri du besoin.

Comme il a été dit plus haut, il avait été remplacé à Lausanne par François-Frédéric de Treytorrens, qui mourut en 1737. Crousaz qui, de retour au pays, l'avait remplacé dans sa dernière maladie, se présenta de nouveau pour le poste qu'il avait quitté treize ans auparavant et Berne accepta son offre avec empressement.

Ce second professorat à Lausanne, repris à l'âge de soixante-quinze ans et terminé à sa mort à quatre-vingt-sept ans, fut naturellement moins brillant que le premier.

Les écrits de Pierre de Crousaz sont très nombreux; ils se rapportent en importance sensiblement égale à la philosophie et aux mathématiques. Je ne citerai de ses écrits mathématiques que les trois suivants, sa *Géométrie des lignes et des surfaces rectilignes et circulaires*, son *Commentaire sur l'Analyse des infiniments petits* et son *Traité de l'Algèbre* qui contient en particulier au chapitre XXIII une définition de la racine imaginaire et un exposé des opérations auxquelles ces racines donnent lieu qui font placer de Crousaz parmi ceux qui sont à l'origine de notre notion actuelle du nombre complexe.

Je citerai encore son *Discours sur le principe, la nature et la communication du mouvement*, qui, présenté sous forme de mémoire à l'Académie des Sciences de Paris en 1720, lui valut un premier prix de 2000 livres et contribua à sa nomination en 1725 d'Associé étranger de l'Académie, et trois autres dissertations de nature physique, couronnées par l'Académie royale de Bordeaux et qui le firent recevoir membre de cette Académie en 1735.

Jean-Philippe Loys de Cheseaux naquit à Lausanne en 1718 de Paul-Louis Loys, seigneur de Cheseaux, et de l'une des filles de P. de Crousaz. Il fut un prodige dès son plus jeune âge. A dix-sept ans, il fit paraître trois mémoires importants sur le choc des corps, la force de la poudre à canon et la propagation du son. Ces mémoires furent communiqués à l'Académie des Sciences de Paris par P. de Crousaz et réunis plus tard en un volume sous le

titre: *Essais de Physique.* De santé délicate et languissante, due en partie à un travail intellectuel excessif, il mourut à trente-trois ans, en 1751, déjà, grâce principalement à ses recherches astronomiques, membre correspondant de l'Académie des Sciences de Paris, de la Royal Society de Londres, de l'Académie de St-Pétersbourg, des Associations savantes de Göttingen, Stockholm, etc., en correspondance et en amitié avec Réaumur, Cassini, Haller, König, Calandrini, Daniel Bernouilli et beaucoup d'autres. L'Académie de St-Pétersbourg avait eu même l'intention de l'appeler à la direction de son Observatoire, lui octroyant en plus «l'agrément de voyager en France, en Allemagne, en Angleterre et dans tous les pays du Nord aux frais de l'Académie.»

Dans ses *Mémoires posthumes* publiés en 1754, on trouve entre autres, à côté de nombreux travaux d'astronomie, un mémoire sur le rapport de la circonférence au diamètre, un mémoire sur l'oscillation du pendule dans un arc de cercle, un autre sur les propriétés de l'équilibre du levier et du coin, une note remarquable intitulée: *Probabilités sur la longueur de la vie humaine,* une note sur la *Résolution géométrique de la racine cubique* et enfin dans les travaux astronomiques, la célèbre prédiction de l'arrivée de la comète de 1758-1759, avec le calcul de sa position et de ses éléments à différentes dates. On sait que cette prédiction basée sur les calculs de Halley et de Clairaut, confirma la théorie newtonienne et donna la forme définitive à l'étude des mouvements des comètes.

Cheseaux eut aussi le rare bonheur de découvrir deux comètes, celles de 1744 et de 1747. Il vit la première à l'œil nu le 13 décembre 1743 et informa immédiatement Cassini de son apparition. L'ayant observée avec soin jusqu'au 1er janvier 1744, il calcula les éléments de son orbite et les fixa pour le 1er mars 1744, de façon telle que le résultat fit l'admiration de ses contemporains. Calandrini lui écrit de Genève le 23 février 1744 une lettre dans laquelle il le comble de louanges et lui dit entre autres:

«Je crois que personne avant vous n'avait prédit la suite de la course d'une comète par le système newtonien» et plus loin: «Votre travail donne au système mathématique du cours des comètes une démonstration qui me paraît à peu près équivalente à la preuve que fournirait l'observation du retour.»

Aujourd'hui la comète de 1744 est dite *la comète de Cheseaux,* bien qu'il soit établi qu'elle fut aperçue à Harlem quatre jours plus tôt par le Hollandais Dirk Klinkenberg. Par contre, le 13 août

1746, Loys de Cheseaux découvrait, cette fois-ci sans conteste, la comète de 1747, de laquelle il ne put cette fois que déterminer hâtivement les éléments, contrarié de nouveau par la maladie qui devait arrêter définitivement ses travaux quelques années plus tard.

Si Philippe Loys de Cheseaux eut vécu un certain nombre d'années encore, il devenait très probablement dans les mathématiques appliquées l'un des grands noms du XVIIIe siècle.

Gabriel Cramer est né à Genève en 1704 d'une famille de médecins et d'hommes d'Etat genevois. Il donna de bonne heure aussi des signes d'une remarquable intelligence. Il soutint à dix-huit ans des thèses sur le son « qui annoncèrent à sa patrie, dit Jean Senebier déjà cité, un grand philosophe, un physicien distingué et un profond mathématicien. »

A vingt ans, il a la chaire de mathématiques à l'Académie conjointement avec son ami Calandrini, chacun en remplissant la charge pendant que l'autre va se perfectionner dans de longs voyages à l'étranger. En 1734, Calandrini obtint la chaire de philosophie et Cramer resta seul titulaire de la chaire de mathématiques.

En 1730, il concourt avec Jean Bernouilli pour le prix offert par l'Académie des Sciences de Paris pour la meilleure réponse à la question: *Quelle est la cause physique de la figure elliptique des planètes et de la mobilité de leurs aphélies?* Bernouilli eut le prix; Cramer dut se contenter du premier accessit. Mais Jean Bernouilli convint lui-même, et ce n'est pas peu dire de sa part, qu'il croyait ne devoir sa victoire qu'aux ménagements qu'il avait gardés pour les Tourbillons de Descartes encore révérés de ses juges, tandis que Cramer avait écrit son mémoire en partisan convaincu des théories newtoniennes.

En 1750, la réputation de Cramer est telle qu'on lui donne sans concours la chaire de philosophie que Calandrini vient de quitter pour entrer au gouvernement et que les Académies de Berlin, de Lyon, de Montpellier, la Société Royale de Londres, l'Institut de Bologne l'admettent dans leur sein avec des marques visibles de respect. C'est que son œuvre classique, son *Introduction à l'analyse des lignes courbes algébriques* vient de paraître. Il y approfondit d'une façon remarquable la théorie géométrique des courbes de degré supérieur et en donne une classification qui sera longtemps admise. Il y traite en particulier la question du nombre

des points d'intersection déterminés par les autres, lorsque deux courbes algébriques se coupent l'une l'autre et reprend sur ce sujet, en détail, un théorème important signalé par Euler; la théorie des polaires et celle des points singuliers, théories qui ont servi ensuite à Poncelet, Bobillier, Plücker, Clebsch et Cayley; la question des points d'inflexion, au sujet desquels il établit un théorème important.

Mais sa principale découverte est dans une note ajoutée à son *Introduction;* c'est la résolution des équations linéaires par les déterminants. La première idée des déterminants revient, sauf erreur, à Leibnitz qui probablement la perdit ensuite de vue. C'est Cramer qui la reprit et la développa. Il en tire la résolution complète d'un système de n équations linéaires à n inconnues au moyen de la règle dite depuis *de Cramer,* que l'on enseigne encore aujourd'hui dans tous les cours élémentaires, et qui donne au moyen des déterminants, immédiatement et sous la forme la plus simple, les valeurs des inconnues cherchées.

Cramer a publié en outre de nombreux mémoires dont je ne puis parler ici. C'est lui en particulier qui proposa en 1742 au géomètre italien Castillon le fameux problème généralisé plus tard, d'inscrire dans une circonférence un triangle dont les côtés passent par trois points donnés. Il mourut, n'ayant que quarante-huit ans, d'un mal venu peut-être par l'excès de ses travaux et aggravé par une chute de voiture.

Je citerai en terminant ce qu'écrivait Daniel Bernouilli à un ami de Genève, tôt après cette mort:

« J'ai perdu un intime ami; votre ville et notre Suisse ont perdu un de leurs plus beaux Ornements et toute l'Europe un savant du premier ordre, né pour augmenter et pour perfectionner les Sciences. »

Simon-Antoine-Jean Lhuilier naquit à Genève en 1750. Il eut pour professeur Louis Bertrand et en plus les conseils et les leçons de son parent mathématicien déjà rencontré George-Louis Lesage. A vingt-trois ans, il envoyait déjà au *Journal encyclopédique* une *Lettre en réponse aux objections élevées contre la gravitation newtonienne.* Deux ans plus tard il participait au concours ouvert pour la fourniture d'ouvrages de physique et de mathématiques destinés aux écoles du royaume de Pologne. Son travail fut couronné et publié en 1778 sous le titre d'*Eléments d'arithmétique et de géométrie pour les Ecoles palatinales.*

Le roi Stanislas fit féliciter le jeune auteur et le prince Czartorinski l'appela à Varsovie pour faire l'éducation de son fils. Lhuilier accepta l'invitation et la longue suite d'années qu'il passa dans la maison du prince fut signalée par un grand nombre de travaux, dont je ne donnerai que quelques titres:

Sur les pyramides isopérimètres.

De relatione mutua capacitatis et terminorum figurarum geometrice considerata, seu de maximis et minimis, pars prior elementaris. Ce dernier mémoire provoquait encore l'admiration de Jacob Steiner, près d'un demi-siècle plus tard.

Mémoire sur le minimum de cire des alvéoles des abeilles, et en particulier sur un minimum-minimorum relatif à cette matière.

Examen du Mémoire sur les poids et mesures où l'on se propose le moyen d'avoir des étalons qui soient réglés par des principes certains et invariables.

Théorie sur les solides plano-superficiels.

Sur la décomposition en facteurs de la somme et de la différence de deux puissances à exposants quelconques de la base des logarithmes hyperboliques, dans le but de dégager cette décomposition de toute idée de l'infini.

En 1786, il concourut pour le prix proposé par l'Académie de Berlin sur la *Théorie de l'infini mathématique.* Il obtint le prix, adjugé par une Commission qui était présidée par Lagrange.

De retour à Genève vers 1789, il fut nommé professeur de mathématiques à l'Académie en 1795. Il fit encore paraître successivement:

Polygonométrie, ou de la mesure des figures rectilignes et abrégé d'Isopérimétrie élémentaire, ou de la dépendance mutuelle des grandeurs et des limites des figures.

Manière élémentaire d'obtenir les suites par lesquelles s'expriment les quantités exponentielles et les fonctions trigonométriques des arcs circulaires.

Sur les probabilités et sur l'application du calcul des probabilités à la valeur des témoignages.

Théorèmes de polyédométrie.

Son dernier travail de longue haleine parut en 1809. C'est un ouvrage important intitulé: *Eléments d'analyse géométrique et d'analyse algébrique, appliqués à la recherche des lieux géométriques.* Il fut en outre un collaborateur zélé des *Annales de*

Gergonne. Ses principaux articles s'y rapportent aux triangles plans et sphériques, aux sections coniques, aux combinaisons, au théorème d'Euler sur les polyèdres, aux polyèdres réguliers, etc.

Simon Lhuilier professa jusqu'en 1823. Quoique très âgé et atteint de la goutte, il remplit ses fonctions jusqu'à leur expiration, se faisant maintes fois porter à l'auditoire pour y faire son cours. Sa retraite prise, il continua ses recherches et écrivit encore trois mémoires dont un seul fut imprimé : *Expression de la capacité d'un polyèdre dans ses éléments extérieurs.* Les deux autres sont manuscrits et traitent l'un et l'autre des polygones et des polyèdres. Le dernier en date porte en sous-titre ces mots qui ne manquent pas de grandeur : *par le professeur Lhuilier, plus qu'octogénaire.* Il mourut le 28 mars 1840, âgé de près de 90 ans.

Charles-François Sturm est né à Genève en 1803. Sa famille d'origine alsacienne avait quitté Strasbourg vers 1760 et était venue se fixer à Genève où le père de Charles vécut assez pauvrement en donnant des leçons d'arithmétique. Esprit méthodique, le père Sturm paraît avoir beaucoup exigé de ses élèves au point de vue de l'ordre dans les calculs et de la clarté dans les démonstrations. Son fils se ressentit toute sa vie de cet enseignement correct et sévère, et en garda la netteté d'exposition, l'emploi systématique des formules, l'exactitude et l'élégance dans l'art de présenter les matières, qui caractérisent Sturm.

A quinze ans il entra à l'Académie de Genève et y suivit avec une assiduité toujours croissante les cours de Jean-Jacques Schaub, de Simon Lhuilier et du futur général Dufour. A seize ans, son père étant mort, il dut, tout en continuant ses études, se mettre à donner des leçons particulières pour subvenir aux besoins de sa famille sans ressources. Il quitta l'Académie en mai 1823 pour entrer en qualité de précepteur dans la famille de Broglie, établie au château de Coppet. Grâce à cet emploi, il eut le bonheur de se rendre une première fois à Paris à la fin de 1823 et par les relations des de Broglie de faire la connaissance de Arago, Laplace, Poisson, Fourier, Ampère et Gay-Lussac.

Il revint à Paris en 1825 avec son ami Daniel Colladon et ils y vécurent ensemble quatre ans, mettant en commun leurs travaux et leurs peines. Le 11 juin 1827, ils remportaient ensemble le grand prix de mathématiques offert par l'Académie des Sciences pour le

meilleur *Mémoire sur la compression des liquides.* D'ailleurs, dès 1822, Sturm collaborait activement aux *Annales de Gergonne* et y avait fait paraître à plusieurs reprises des solutions intéressantes et des articles appréciés.

Ces travaux et le mémoire sur la compression des liquides attirèrent sur Sturm l'attention et la bienveillance de Fourier, qui l'initia à ses propres recherches et lui ouvrit des horizons nouveaux. C'est en étudiant sous la direction de Fourier les propriétés d'une classe d'équations différentielles que Sturm trouva le théorème qui restera attaché à son nom. Il communiqua sa découverte à l'Académie des Sciences dans la séance du 13 mai 1829. Les membres de l'Académie y virent immédiatement le plus élégant des moyens pour déterminer le nombre des racines réelles d'une équation algébrique, comprises entre deux nombres donnés. Ils comblèrent le jeune Sturm (il n'avait pas encore vingt-six ans) de leurs louanges et le couvrirent de leurs applaudissements.

Dès lors pour lui la voie fut ouverte. Le 30 septembre 1833 il lisait à l'Académie des Sciences un nouveau mémoire: *Sur les équations différentielles linéaires du second ordre,* qui lui valut le grand prix de mathématiques du 4 décembre 1834, qui devait selon les termes fixés « être décerné à l'auteur de la découverte la plus importante publiée dans les trois dernières années. »

Peu de temps après il donnait un complément à ce mémoire intitulé: *Sur une classe d'équations à différentielles partielles.* « La postérité impartiale, dit Liouville, placera ces travaux à côté des plus beaux mémoires de Lagrange. »

En 1836 il était élu membre de l'Académie des Sciences de Paris en remplacement d'Ampère; en 1840 il était nommé professeur d'analyse à l'Ecole polytechnique de France, et la même année encore, sur la présentation du Conseil académique et de la Faculté des Sciences, à la chaire de mécanique que la mort de Poisson venait de laisser vacante à la Sorbonne.

Je terminerai avec les paroles suivantes que Liouville prononçait sur sa tombe le 20 décembre 1855:

« L'originalité dans les idées et la solidité dans l'exécution assurent à Sturm une place à part. Il a eu de plus le bonheur de rencontrer une deces vérités destinées à traverser les siècles sans changer de forme et en gardant le nom de l'inventeur, comme le cylindre et la sphère d'Archimède. »

Louis Schläfli est né le 15 janvier 1814 au hameau de Grasswil près de Herzogenbuchsee. Son père était Jean-Louis Schläfli, un commerçant de Berthoud, et sa mère Madeleine Aebi de Grasswil. Peu après la famille retourna à Berthoud et le jeune Louis Schläfli y suivit l'école communale et y reçut ses premières leçons de mathématiques. « Lorsque le maître, raconte le professeur Graf dans la notice biographique qui me sert,[1] avait achevé une démonstration au tableau, Schläfli était souvent le seul qui l'avait comprise et qui fut apte, de retour à la maison, à la reproduire par écrit. » Il eut une grande joie à travailler, avec une ardeur infatigable, tous les exercices d'un livre d'algèbre élémentaire de Meyer-Hirsch, et à quinze ans, il faisait déjà du calcul différentiel avec le premier volume de l'*Analysis des Unendlichen* de Kästner, qu'il avait trouvé à la bibliothèque de Berthoud.

Son père, sans doute pour aider son commerce, songea à faire un colporteur de cet aîné de la famille.

« Mit einem Korb voll Waren, raconte encore Graf, sollte er die umliegenden Dörfer besuchen, die Kostenpreise der Gegenstände wurden ihm mitgeteilt; allein nach der ersten Woche kehrte er abgemagert und hungrig nach Hause zurück. Verkauft hatte er fast gar nichts, weil ... « er nicht begreifen konnte, dass man eine Sache teurer verkaufe, als man sie eingekauft habe ». So liess man *den Ludwig* studieren. »

C'était en 1829. On lui obtint une bourse pour le gymnase de Berne. Après deux ans de gymnase, dans lesquels il s'adonna surtout à l'étude des langues et des mathématiques, il passa selon l'usage d'alors à l'Académie et lorsqu'en 1834, l'Académie fut transformée en Université, il s'inscrivit à la Faculté de théologie et y étudia régulièrement jusqu'au semestre d'hiver 1836/1837. En novembre 1837, pour l'aider à vivre, on lui donna la place de maître de mathématiques et de sciences naturelles à l'école communale de Thoune et, tout l'hiver et l'été suivant, il s'en vint à pied de Thoune à Berne une fois par semaine pour y suivre son séminaire de théologie. Il fit bientôt ses examens d'Etat et fut consacré le 9 septembre 1838. Mais ne se sentant sans doute pas appelé dans cette voie, il refusa ensuite d'entrer dans la pastoration. Ses goûts et ses dispositions intellectuelles l'entraînaient trop fortement vers les

---

[1] Ludwig Schläfli (1814—1895), par le Dr J. H. Graf, prof. ord. de mathématiques à l'Université de Berne, dans les « Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern » aus dem Jahre 1895, p. 120—203.

sciences exactes et naturelles. Il garda sa place de maître à l'école communale de Thoune pour vivre et redoubla d'ardeur dans ses études mathématiques et en sciences naturelles. Graf caractérise de ces quelques mots les dix ans que Schläfli fut à Thoune: « Treuer Unterricht in der Schule und stilles, tiefgründiges Privatstudium. »

Jusque-là Schläfli n'avait guère été en mathématiques supérieures qu'un autodidacte, ayant dépassé rapidement chacun des maîtres qu'il avait eus. Plus d'une fois déjà, l'envie l'avait pris de chercher appui et conseils auprès des coryphées de la science mathématique d'alors, auprès peut-être de son grand compatriote Jacob Steiner, Jacobi, Lejeune-Dirichlet ou d'autres. Il était enfin décidé à partir pour Dresde, pour aller ensuite à Berlin, lorsque J. Steiner vint à Berne en automne 1843. Grâce à un ami, Schläfli put se rencontrer avec lui; dans cette entrevue le peu analyste Steiner se fit expliquer une formule de Jacobi dont il ne saisissait pas très bien l'emploi dans la théorie des polaires. Schläfli lui rendit la chose si claire et lui en imposa si bien que Steiner se décida sur le champ à se charger du jeune homme. Il lui déconseilla d'aller à Berlin où il ne trouverait personne, et l'engagea à partir avec Dirichlet, Jacobi et lui-même pour l'Italie et Rome où ils allaient passer l'hiver. Schläfli après quelques hésitations accepta; il obtint un congé, se trouva à ses frais un remplaçant, emprunta l'argent du voyage et partit avec Steiner. Ils rejoignirent en route leurs compagnons. A Rome, Dirichlet et Jacobi se montrèrent également généreux avec Schläfli; Dirichlet en particulier lui donna chaque après-midi une leçon de Théorie des nombres. Au printemps 1844, entièrement à bout d'argent, mais avec un esprit ouvert sur des horizons nouveaux, il rentrait à Thoune reprendre son poste.

Peu à peu cependant, lui-même et aussi ses supérieurs, se rendaient compte que son enseignement à l'école communale, entre temps pourtant transformée en progymnase, en mathématiques surtout dépassait ses élèves. On l'engagea à demander la venia docendi et une place à l'Université, en adressant un mémoire mathématique au Directeur de l'Instruction publique. Les choses n'allèrent pas sans difficulté; à la Faculté l'on disait que Schläfli était bien une tête remarquable, exceptionnelle, qu'il était ami et estimé de Steiner, mais un homme manquant totalement du sens pratique. Enfin le 1er avril 1848, il était nommé privat-docent avec un traitement de

400 fr. Il dut s'en contenter jusqu'en 1853, et Schläfli a raconté lui-même qu'au sens propre du mot il avait supporté dans ce temps-là la « blauen Hunger ». Elle dut lui être d'autant plus amère, qu'il avait abandonné un petit héritage de ses parents, pour payer la pension d'une sœur idiote, à l'orphelinat de Berthoud. En 1853, grâce à l'entremise énergique de Steiner, on le nomma professeur extraordinaire avec un traitement de 1200 fr., que l'on monta à 1400 fr. en 1863.

Entre temps, ses mémoires mathématiques, dont les premiers sont des communications à la Société bernoise des Sciences Naturelles en 1846, 1847 et 1848, principalement sur des sujets de géométrie différentielle, puis en 1847, 1849 et 1850 aux Archives de Grunert sur des questions d'analyse et de géométrie, commençaient à le faire connaître. En 1851, son mémoire sur la *Résultante d'un système de plusieurs équations algébriques* était accepté dans les Mémoires de la classe mathématique de l'Académie de Vienne. De 1852 à 1862, il fait paraître encore plusieurs mémoires dans le Journal de Crelle, dans le Journal de Liouville, dans les Vierteljahrsschrift de la Société des Sciences Naturelles de Zurich, dans le Quaterly Journal of pure and applied mathematics de Sylvester, encore sur des sujets divers d'analyse et de géométrie. Le 10 mars 1863, sa Faculté de philosophie de Berne lui confère le titre de docteur honoris causa. Dès lors, pour lui, la dure montée est faite; les honneurs et la gloire, sinon la fortune, commencent à lui venir. Il poursuit ses publications. Dans la période qui va de 1846 à 1885 il a plus de soixante mémoires mathématiques dans les périodiques déjà nommés, les Mathematische Annalen, les Mémoires de la classe des sciences physiques, mathématiques et naturelles de l'Académie des Lincei, les Annali di Matematica pura ed applicata de Brioschi et Cremona, les Acta Mathematica, etc., et il laissait à sa mort, le 20 mars 1895, près de 300 manuscrits dont sa *Theorie der vielfachen Kontinuität,* publiée en 1901 par le professeur Graf pour le compte de la Commission des Mémoires de la S. H. S. N. et que J. Steiner appelait « *eine Weltüberstürmende Erdewälzende Abhandlung* ».

Mais j'ai déjà dépassé ici de beaucoup la norme que je m'étais fixée pour ces courtes biographies. Je n'ajouterai plus, soulignant que Schläfli fut en plus d'un mathématicien hors rang un orien-

taliste et un polyglotte distingué,[1] que le bel éloge que lui donnaient ses collègues de Zurich, à l'occasion de son 70e anniversaire, dans une adresse où ils l'appellent: «der überall berühmte Mathematiker und scharfsinnige Veda-Kenner» et lui disent entre autres:

«Hat doch in dem Jahrhundert, das seit des unvergleichlichen Leonhard Eulers Tode verflossen ist, kein Schweizer so vielseitig wie Sie das mathematische Wissen seiner Zeit beherrscht, und unter den jetzt lebenden Mathematikern aller Länder wüssten wir, was die Mannigfaltigkeit der von Ihnen durchforschten Gebiete anbetrifft, nur wenige Ihnen an die Seite zu stellen.»

* * *

A côté de ces étoiles de seconde grandeur, et dont plus d'une, ainsi Sturm ou Cramer, est près d'être de première grandeur, j'ai annoncé une constellation brillante, celle des sept Bernouillis. Elle est sur Bâle; elle brille intensément à la fin du XVIIe, à l'aurore et encore dans tout le XVIIIe siècle. Elle est plus connue; vous me permettrez pourtant de vous la décrire encore d'une façon plus ou moins sommaire.

Les trois astres de grand éclat en sont les deux frères Jacques et Jean Bernouilli et le fils de Jean, Daniel Bernouilli. Je reviendrai à chacun d'eux ensuite. Les deux autres fils de Jean, l'aîné Nicolas et le cadet Jean que nous appellerons, et que nous avons déjà appelé au cours de cet exposé, Jean II Bernouilli et les deux fils de ce dernier, Jean et Jacques, que nous appellerons Jean III et Jacques II Bernouilli enrichirent encore les mathématiques de leurs écrits, mais eurent considérablement moins de mérites. Nicolas fut professeur et académicien à St-Pétersbourg; il s'y noya à l'âge de trente-un ans. Jean II Bernouilli prit la chaire de mathématiques de son père à l'Université de Bâle et l'occupa de 1750 à 1790. Jean III Bernouilli fut Astronome Royal et Directeur des Etudes mathématiques à Berlin. Jacques II fut successivement professeur à Bâle, Vérone et St-Pétersbourg. Je pourrais ajouter encore un second Daniel, neveu des deux premiers frères, qui fut professeur de mathématiques à Padoue et ensuite à Bâle, éditeur des œuvres posthumes de Jacques Bernouilli.

---

[1] Il donna sa dernière activité scientifique avant sa mort à la traduction du Rig-veda et les mémoires de Schläfli dans les périodiques mathématiques italiens, français ou anglais nommés plus haut, sont naturellement dans la langue même de ces périodiques.

Jacques Bernouilli, l'aîné des sept et sans doute le plus grand des trois grands Bernouillis, est né à Bâle le 27 décembre 1654 du Conseiller d'Etat Nicolas Bernouilli et de son épouse Marguerite Schönauer. Destiné à la théologie, il l'étudia à l'Université de Bâle; mais ses goûts le portaient irrésistiblement vers les sciences mathématiques. Il entreprit un premier voyage à Genève et en France entre 1676 et 1680, faisant le précepteur pour subvenir à ses besoins. A son retour, il écrivit son premier mémoire, sur la théorie des comètes, à l'occasion de l'apparition de celle de 1680. En 1681, il repartait pour un second voyage sur Mayence, puis Amsterdam où il séjourna assez de temps pour y faire paraître deux nouveaux mémoires, dont l'un est une retouche en latin de son premier mémoire sur les comètes et le second traite en particulier de la pesanteur de l'air. Il passa ensuite en Belgique et en Angleterre et revint à Bâle en octobre 1682. En 1687, à la mort de Pierre Megerlin, il était prêt à prendre sa succession dans la chaire de mathématiques de l'Université. On la lui confia immédiatement, sans se douter que pendant un siècle elle allait rester le brillant apanage de la famille des Bernouillis et avec eux l'illustration de l'Université de Bâle.

Leibnitz venait de faire paraître en 1684 dans les Acta eruditorum, sous une forme à peine intelligible pour la plupart des mathématiciens, un spécimen de son calcul différentiel. Pour Jacques Bernouilli cette initiation suffit. En 1691 il publiait dans les Actes de Leipzig un abrégé du Calcul différentiel et du Calcul intégral, dans lequel il donne déjà les règles générales pour la dérivation, la rectification des courbes, la quadrature des aires et les applique à la parabole, à la spirale logarithmique, à la courbe loxodromique et à d'autres courbes. Avec son jeune frère Jean, le second astre brillant de la constellation, qu'il a initié lui-même aux mathématiques depuis son retour à Bâle et avec un succès dépassant toute espérance, ils développent à eux deux l'invention de Leibnitz et en font un tel emploi que celui-ci dira, que le nouveau calcul est dû autant aux deux Bernouillis qu'à lui-même. Ils traitent, ensemble ou séparément, les problèmes de la courbe isochrone, de la brachystochrone, de la chaînette, des isopérimètres et d'autres et la renommée des deux Bernouillis croît si rapidement et de façon telle qu'en 1699, à la première nomination des huit membres Associés étrangers de l'Académie des Sciences de Paris, les deux Bâlois sont choisis avec Leibnitz, Newton, Guglielmini, Hartsöcker, Tschirnhausen et Römer,

et en 1701, à la fondation de l'Académie de Berlin à l'instigation de Leibnitz, ils se trouvent également dans les membres fondateurs.

Je ne parlerai pas ici faute de temps d'une longue et violente querelle qui surgit entre les deux frères dès la fin 1696 et les sépara définitivement, au sujet d'un problème sur les courbes isopérimètres posé par Jacques Bernouilli, querelle due en bonne partie au caractère orgueilleux de Jean Bernouilli et à l'obstination qu'il montra à ne pas reconnaître une erreur qu'il avait faite dans la méthode qui l'avait conduit à sa propre solution, attendant plusieurs années après la mort de Jacques pour avouer cette erreur et publier comme sienne une nouvelle solution qui n'était autre qu'une retouche de celle de son frère.

Jean Bernouilli, le dixième enfant de la famille, naquit lui-même à Bâle treize ans après son frère. Nous avons de lui une autobiographie fort intéressante, mais où son caractère et l'opinion fort avantageuse qu'il a de lui-même apparaissent, pour le moins plus souvent qu'il ne conviendrait. A vingt-trois ans il entreprit également un voyage, s'arrêta huit mois à Genève et plus longtemps à Paris, où il fit la connaissance entre autres du Marquis de l'Hospital. Dans un séjour de plusieurs mois qu'il fit avec ce dernier près de Blois, il le mit au courant de ses nouvelles méthodes de calcul, car dit-il:

« en ce temps-là, toute la Mathématique de France se bornait à l'Astronomie, la Géométrie et l'Algèbre ordinaire, tellement qu'à peine on avait ouï parler de nos nouveaux calculs. »

Il revint à Bâle en novembre 1692 et entra en correspondance avec Leibnitz.

« Dans l'année 1695, dit-il, je fus appelé d'une manière très honorable par MM. les curateurs de l'Université provinciale de Groningue pour y remplir la chaire de Mathématiques. Les conditions étaient trop avantageuses pour les refuser. Ainsi je partis avec ma femme et notre petit Nicolas qui n'avait que sept mois le 1 de Septembre de la dite année. »

Plus loin, après avoir raconté les multiples démarches que tentèrent auprès de lui les magistrats d'Utrecht pour lui faire accepter la chaire de Philosophie et de Mathématiques vacante dans leur Université, il continue:

« Mais le magistrat de Groningue, très satisfait de ma personne, me voulant retenir, détourna la vocation d'Utrecht en augmentant considérablement ma pension annuelle. Je m'engageai donc de nouveau à Groningue dans la persuasion d'y finir ma vie; mais il m'arriva qu'en 1705, sur les fréquentes et pres-

santes sollicitations de mon beau-père qui me conjura par tout ce qu'il y a de plus sacré de revenir avec ma famille dans la patrie, ne pouvant plus vivre, disait-il, sans nous, je me vis enfin forcé de quitter ma station.»

En route il apprend la mort de son frère Jacques.

«Quoique consterné, dit-il, de cette triste nouvelle, je ne laissais pas de prévoir clairement que, de retour à Bâle, je ne pourrais me défendre d'accepter la succession à mon frère dans la chaire des Mathématiques.» Et plus loin: «Mon inauguration se fit le 17 novembre 1705 par un discours *De fatis novae Analyseos et Geometriae sublimioris,* où il y eut un grand concours de monde. Dans la suite j'ai continué mes leçons publiques et privées avec un bon succès, ce que je fais encore. J'ai attiré des étrangers des différents pays de l'Europe, non seulement de jeunes étudiants, mais des personnes de distinction, même des Professeurs, des Docteurs, des Académiciens, qui étaient venus de loin, de Suède, d'Angleterre, de France, d'Italie, de Suisse et du fond de l'Allemagne, chacun souhaitant de profiter de mes lumières pour se perfectionner dans les sublimes analyses; je ne sache aucun qui ne soit reparti de Bâle très content de mes leçons.»

L'éloge qu'il se donne ici n'est certainement pas exagéré. Ce fut le professeur de l'époque qui eut le plus de succès et il possédait le talent d'inspirer à ses élèves le goût passionné qu'il avait lui-même pour les mathématiques. Entre les chaires de Groningue et de Bâle il fut cinquante-deux ans professeur et eut dans ses élèves, entre beaucoup d'autres, les étrangers Clairaut, Klingenstierna, Maupertuis, les suisses Cramer, Lesage, Haller, König, Gessner, Spleiss, les bâlois Euler, Wenz, Brückner, sans compter ses propres fils.

Il donne plus loin les prix qui lui furent décernés par l'Académie des Sciences de Paris pour ses différents travaux de concours et ceux que ses fils reçurent également. Je ne saurais les citer ici tout au long. Lui-même reçut le grand prix de 2500 livres pour le sujet déjà nommé: *Sur la cause physique de la figure elliptique des planètes* et pour lequel Cramer eut le premier accessit; il partagea avec son fils Daniel un autre prix double de 5000 livres pour le sujet: *Sur la cause physique de l'inclinaison des orbites des planètes sur le plan de l'équateur.* Son fils Daniel en remporta dix à lui seul ou à partager avec d'autres, parmi lesquels le grand prix de 2500 livres sur la *Théorie des marées,* qu'il partagea avec Euler et Maclaurin. Son fils Jean (Jean II Bernouilli) en remporta trois. Si Euler, qui remporta lui-même pour son compte en tout ou en partie douze prix, eut habité Bâle, on pourrait dire que l'Académie des Sciences de Paris pendant plusieurs lustres s'est donné une peine inutile à étudier les travaux pré-

sentés. Elle n'aurait eu qu'à envoyer directement à Bâle, une fois pour toutes, la presque totalité de ses prix.

Revenons maintenant **aux deux frères.** Jacques et Jean Bernouilli furent incontestablement les deux ouvriers de la première heure, et des ouvriers d'une belle taille, à cette moisson que venaient de faire lever Leibnitz et Newton en inventant le calcul infinitésimal et fixant le concept de fonction qu'il présuppose. A *Jacques Bernouilli* revient la solution du problème de la courbe isochrone, de la chaînette avec son extension au cas du fil de densité variable soumis en chaque point à l'action d'une force dirigée vers un centre fixe; la détermination de la forme que prend une tige élastique fixée en l'une de ses extrémités et dont l'autre est soumise à l'action d'une force, celle que prend un rectangle flexible dont deux côtés sont fixés horizontalement et qui est rempli d'un liquide pesant; la détermination de la courbe dessinée par une voile enflée par le vent. Sa solution donnée au problème des isopérimètres publiée en 1701 est exacte pour tous les cas qu'il examine. En 1698 il publie un essai d'application du calcul différentiel à la géométrie, où il étudie en particulier les propriétés de la spirale logarithmique. Frappé du fait que les courbes variées qui s'en déduisent reproduisent la courbe primitive, il demanda, à l'exemple d'Archimède, que cette spirale fut gravée sur sa tombe avec la célèbre inscription: *eadem numero mutata resurgo.*

Enfin dans son Traité: *Ars conjectandi,* qui parut seulement sept ans après sa mort par les soins de son neveu Nicolas Bernouilli, il établit les principes fondamentaux du calcul des probabilités, et au cours de l'ouvrage définit les nombres qui portent aujourd'hui son nom. Il s'occupa de la théorie des séries infinies et fit la première intégration d'une équation différentielle.

A *Jean Bernouilli* revient le calcul exponentiel, l'étude fonctionnelle et non plus géométrique de la trigonométrie, les conditions qu'une ligne doit remplir pour être géodésique, la détermination des trajectoires orthogonales, la solution du problème de la brachystochrone et dans un autre domaine l'énonciation du principe du travail virtuel.

Les œuvres de Jacques et de Jean Bernouilli, à l'exception de l'Ars conjectandi, furent rassemblées et rééditées par Cramer à Lausanne en 1742 et 1744 sous les titres: *Opera Jacobi Bernouilli. Johannis Bernouilli opera omnia tam antea sparsim edita quam hactenus inedita.*

Daniel Bernouilli, le troisième astre éclatant de la constellation, naquit à Groningue le 29 janvier 1700. Il fut initié aux mathématiques par son frère Nicolas bien plus que par son père, qui usa au contraire à son égard de procédés mieux faits pour le décourager de suivre ses traces, si bien que Condorcet[1] a pu dire:

« Sa famille obtint *malgré elle* l'honneur unique jusqu'ici, nous ne disons point dans l'Histoire des Sciences, mais dans les Annales du monde, de produire trois grands hommes en deux seules générations. »

Sa famille voulait le faire marchand. Daniel s'y opposa de toute son énergie. A la fin il se résigna à la médecine sans perdre de vue la mathématique et la physique. Après Bâle, il étudia à Heidelberg et Strasbourg, puis partit pour Venise en 1723 pour compléter sa formation auprès du célèbre médecin mathématicien Michelotti. Il travailla avec Michelotti autant en mathématiques qu'en médecine, publia en 1724 déjà ses *Exercitationes quaedam mathematicae,* qui contiennent entre autres une solution de l'équation différentielle proposée par Riccati. A la fin 1724, on lui offrit un professorat en mathématiques à St-Pétersbourg. Il ne l'accepta que lorsque son frère Nicolas, alors professeur de droit à Berne, grâce à l'entremise de Goldbach, eut également reçu un même appel et les deux frères partirent pour St-Pétersbourg dans les premiers jours de septembre 1725. Mais hélas! Nicolas y mourut le 20 juillet 1726, et Daniel, sous le coup de cette mort, écrivait encore à Goldbach trois ans plus tard: « Le funeste départ de Bâle m'a coûté un frère que je voudrais pouvoir racheter avec tout mon bien et mon sang. » Il ne songea dès lors plus qu'à rentrer, malgré les propositions les plus avantageuses qu'on lui fit pour le retenir et deux échecs successifs que rencontrait sa candidature à une chaire de l'Université de Bâle. En 1732 enfin, il obtint la chaire d'anatomie et de botanique devenue vacante et accompagné de son frère cadet Jean II Bernouilli, qui était allé le chercher à St-Pétersbourg, il rentra à Bâle par un très long voyage dont nous avons le pittoresque récit, passant par Groningue, Amsterdam, Anvers, Bruxelles et Paris.

L'œuvre principale de Daniel Bernouilli est son *Hydrodynamique* parue en 1738, dans laquelle tous les résultats ressortent comme conséquence du seul principe de la conservation de l'énergie. Je me permets de vous donner le passage suivant d'une description du contenu de son ouvrage faite à un ami:

[1] Le marquis de Condorcet, secrétaire de l'Académie des Sciences de Paris.

« Le sujet en est: *La force et le mouvement des fluides;* et pour les renfermer l'un et l'autre en un mot, je l'apelle *Hydrodynamica.* On comprend bien que c'est un sujet fort ample; mais on sera peut-être surpris d'entendre que de la manière que je le traite, il est comme tout nouveau, excepté l'*équilibre* des *fluides* qui sont en repos, que je n'ai considéré que pour rendre mon *Système* plus complet. Ce n'est pas qu'on n'ait pensé depuis tout temps à une matière aussi utile que celle qui regarde le mouvement des fluides et les Sciences qui en dépendent: Mais jusques à nos jours on n'a eu pour la traiter avec succès, ni assez de lumières dans les Mathématiques pures, ni assez de connoissances des principes méchaniques que la nature suit. C'est ce qui a découragé les uns et plongé les autres dans des erreurs fort grossières. Quant aus subsides que les Mathématiques fournissent pour aprofondir les *Lois hydrodynamiques,* on verra dans mon Ouvrage, qu'on est fort souvent mené à des intégrations à faire, à des séparations d'indéterminées, à des suites et autres choses, la plûpart desquelles il n'y a pas longtemps qu'on ignoroit jusqu'au nom. L'Entreprise auroit donc été trop hazardée, il y a 50 ou 60 ans, même pour les grands genies, de s'engager un peu avant dans cette matière. Après l'invention même des *calculs différentiel, exponentiel, intégral,* etc., il manquoit encore une connoissance suffisante des Vérités et principes méchaniques: C'est ce qui a causé les bevues que Mr *Newton* a faites sur cette matière, quoiqu'il n'ait considéré, que les choses les plus simples. Il y a environ douze ans, que mon Père aïant vû toute l'étendue et l'utilité du principe de la conservation des forces vives, dû à Mr *Leibnitz,* commença à se servir de ce principe pour résoudre très simplement les Problèmes les plus difficiles, et il a mis par là toute la méchanique dans un nouveau jour. »

Outre ses mémoires qui remportèrent les dix prix de l'Académie des Sciences de Paris dont je parlais il y a un instant, Daniel Bernouilli composa un grand nombre de notes importantes sur des questions de mécanique et de physique. D'une façon générale, la manière dont il appliqua les mathématiques supérieures aux résultats de l'expérience en font incontestablement un des fondateurs de la physique mathématique actuelle. Il est aussi le premier qui ait tenté de formuler une théorie cinétique des gaz; il s'en servit pour expliquer la loi de Boyle et Mariotte.

Daniel Bernouilli fut également Associé étranger de l'Académie des Sciences de Paris; à la mort de son père la chaire des mathématiques de Bâle aurait dû lui revenir sans conteste. Des difficultés et un parti pris du Sénat universitaire peu compréhensible firent attribuer la chaire de mathématiques à son frère Jean, tandis que lui-même prenait peu après la chaire de physique devenue vacante. Il mourut le 17 mars 1782, aimé et regretté de tout le monde savant et n'ayant point d'ennemis

* * *

Restent maintenant les deux astres dits de première grandeur: l'*analyste* Leonhard Euler et le *géomètre* Jacob Steiner. Le premier est en plein XVIIIe siècle, pendant cinquante ans, le joyau que se disputent l'Académie royale de Prusse et l'Académie impériale de St-Pétersbourg; le second est dans la première moitié du XIXe siècle, à Berlin encore, le dernier grand représentant jusqu'ici de la science mathématique suisse à l'étranger.

Leonhard Euler, fils du pasteur Paul Euler, est né à Bâle le 15 avril 1707 et passa ses premières années à Riehen (près de Bâle) où son père fut pasteur dès 1708. Paul Euler, qui avait été lui-même élève studieux de Jacques Bernouilli, prépara son fils aux études supérieures, aux mathématiques en particulier bien qu'il le destina à la théologie, et l'envoya à treize ans suivre les cours de l'Université de Bâle, en particulier ceux de Jean Bernouilli, à côté des cours de théologie et de langues orientales. Mais le moment vint où le père et le fils virent qu'il était mieux pour Leonhard qu'il se voua entièrement aux mathématiques. C'est ce qu'il fit jusqu'en 1726; à ce moment les deux fils de Jean Bernouilli, Nicolas et Daniel, qui s'étaient liés d'amitié profonde avec lui et qui étaient partis l'année précédente pour St-Pétersbourg, lui écrivirent qu'ils avaient également une situation en vue pour lui, s'il consentait à étudier aussi la médecine et la physiologie. Euler se mit avec ardeur dans cette nouvelle direction, tout en trouvant le temps et l'énergie pour travailler à côté à une question de concours proposée par l'Académie des Sciences de Paris sur la mâture des vaisseaux, et avec succès, puisque le jeune Bâlois, qui n'avait pas encore dix-neuf ans, appuyé d'aucune connaissance pratique dans ce domaine, qui n'avait même pas encore vu un grand bateau, obtint un second prix.

Au printemps 1727, après avoir échoué à Bâle comme candidat à la chaire de physique, il partit, confiant dans une assurance qui lui était donnée par Daniel Bernouilli, pour St-Pétersbourg et en effet il y fut de suite nommé adjoint à la classe mathématique de l'Académie. Il y trouvait d'ailleurs, avec son ami, deux autres compatriotes, Jacques Hermann, qui y était professeur de mathématiques supérieures et dont il a été question déjà, et Isaac Brückner, un géographe mathématicien et mécanicien. Survenaient, tôt après, la mort de l'impératrice Catherine I, l'arrivée au trône

de l'impératrice Anne, la consolidation des situations à l'Académie un instant compromises et bientôt après pour Euler, la succession de Jacques Hermann, rappelé à Bâle comme professeur d'éthique. Dès ce moment commencent chez Euler une activité et une production scientifiques intenses, prodigieuses, croissantes d'année en année, desquelles nous donnerons plus loin tout au moins quelques caractéristiques.

Dans l'année 1735, la proposition fut faite à l'Académie de calculer une table de corrections astronomiques pour la détermination de l'heure à la latitude de St-Pétersbourg. Plusieurs académiciens demandèrent pour ce travail quelques mois; Euler l'acheva en trois jours. Mais il y gagna un accès de fièvre qui le mit à deux doigts de la tombe et lui laissa un abcès dont la conséquence fut la perte de l'œil droit. Il aurait dû d'autant plus ensuite ménager l'œil qui lui restait; dans l'ardeur du travail il oublia constamment de le faire.

En 1741, Euler, sur les instances de Frédéric le Grand, qui avait l'intention de rénover son Académie et de lui infuser une activité scientifique nouvelle, vint à Berlin, d'autant plus volontiers que la vie à St-Pétersbourg, sous le régime despotique du tout-puissant favori de l'impératrice Anne était devenue moins qu'agréable, comme le montre l'anecdote suivante se rapportant à la première présentation d'Euler à la reine-mère de Prusse.

« La reine-mère, raconte Condorcet, malgré cette familiarité noble qu'elle savait mettre dans son accueil, ne put obtenir de M. Euler que des monosyllabes. Elle lui reprocha cette timidité: Pourquoi ne voulez-vous donc pas me parler, lui dit-elle? — Madame, répondit-il, *parce que je viens d'un pays où, quand on parle, on est pendu.* »

Frédéric le Grand sut apprécier pleinement Euler; il le nomma en 1744 Directeur de la classe mathématique de l'Académie, le chargea de différents travaux spéciaux. Il prenait son avis pour les nominations aux différentes chaires et on a une collection de cinquante-quatre lettres, en partie autographes que le grand Frédéric adressa à Euler. Euler jouissait de la même considération auprès des princes de la famille royale, particulièrement auprès du margrave Henri de Brandebourg, qui le pria de donner des leçons à ses deux filles. L'une d'elles est la princesse allemande à qui Euler destinait, lors d'un séjour de la Cour à Magdebourg, ses célèbres: *Lettres à une Princesse d'Allemagne sur quelques*

sujets de Physique et de Philosophie, qui furent publiées dans la suite et constituèrent un ouvrage classique pendant près d'un demi-siècle.

Euler n'avait pas rompu complètement ses relations avec l'Académie de St-Pétersbourg; il continuait à Berlin à percevoir une partie de son ancien traitement et envoyait en retour des mémoires à l'Académie. D'autre part, il n'était pas oublié non plus dans la capitale du Nord et lorsque en 1762 les troupes russes entraient à Berlin, le général Tottleben qui les commandait lui faisait donner une garde particulière. Heureux temps où la science avait une valeur si grande et inspirait un respect si profond! Lorsque Catherine II, Catherine *le Grand,* comme on l'a appelée, monta sur le trône et voulut à son tour redonner un nouveau lustre à son Académie, elle songea immédiatement à reprendre Euler. Ses propositions vinrent en un moment où celui-ci se trouvait précisément sous le coup d'un ennui assez sérieux, dans une histoire de rapports de l'Académie avec le roi, dans laquelle il n'avait pas joué le meilleur rôle. Ce fut la raison essentielle qui le décida à partir. Catherine lui fit assurer un traitement annuel de 3000 roubles, en cas de mort une pension à sa veuve de 1000 roubles et des perspectives de situations avantageuses pour ses trois fils. Euler accepta; il prit congé de Frédéric en mai 1766, passa à Varsovie sur l'invitation pressante de Stanislas-Auguste, arriva le 17 juillet à St-Pétersbourg, où il était immédiatement présenté à l'impératrice, reçu à sa table et gratifié encore par elle de 8000 roubles pour l'achat d'une maison.

Mais hélas! Euler était à peine installé avec sa famille dans sa nouvelle demeure, que la cataracte survenait qui lui enlevait partiellement et bientôt définitivement l'usage de son œil gauche depuis longtemps surmené. Pour comble de malheur, un grand incendie qui éclata à St-Pétersbourg le 23 mai 1771 détruisit sa maison; il faillit y laisser tous ses manuscrits et même sa vie. L'impératrice fournit encore 6000 roubles pour réparer cette perte et Euler aveugle ne ralentit en aucune façon son activité et sa productivité scientifiques. Aidé pour ses calculs par son fils Albert d'abord, et dès 1773 par le jeune Nicolas Fuss, élève de Daniel Bernouilli et dont il a été question déjà, écrivant ou plutôt indiquant ses calculs projetés en gros caractères tracés à la craie sur une grande table recouverte d'ardoise qui occupait tout le milieu

de la pièce où il se tenait, on peut dire qu'il calcula jusqu'à son dernier souffle. Des 863 (selon la liste d'Enestrom) ouvrages ou mémoires scientifiques qu'il signa, 355 sont de cette période de 1773 à 1782, dans laquelle Nicolas Fuss calculait le détail et rédigeait selon le schéma prescrit par le maître.

Donnons ici quelques traits seulement de cette œuvre scientifique prodigieuse. P.-H. Fuss, fils de Nicolas et son successeur au secrétariat de l'Académie de St-Pétersbourg, estimait en 1843 qu'il faudrait pour une édition complète des œuvres d'Euler 16.000 pages in 4°; je ne sais combien comptent déjà de pages les 20 volumes actuellement parus de l'édition enfin entreprise des œuvres de notre grand compatriote par la S. H. S. N., décidée précisément dans la Session de Fribourg de 1907, confiée à une commission, la commission Euler, présidée par Ferdinand Rudio, édition pour laquelle en septembre 1909 on avait déjà 300.000 fr. de souscriptions et 125.000 fr. de dons, et dont le premier volume sortait de presse au printemps 1911. De ces ouvrages et mémoires d'Euler, 40 % environ se rapportent à l'analyse et à l'algèbre, 18 % à la géométrie, 28 % à la mécanique et à la physique, 2 % à l'architecture, l'art nautique et la balistique, 11 % à l'astronomie et 1 % à des questions diverses.

En analyse et algèbre ses ouvrages principaux sont: l'*Introductio in Analysin infinitorum,* parue en 1748, divisée en deux parties, dont la première renferme l'ensemble des matières que l'on peut trouver dans les classiques modernes sur l'algèbre, la théorie des équations et la trigonométrie, et la seconde roule sur la géométrie analytique; les *Institutiones Calculi Differentialis,* parues en 1755, qui est le premier livre classique sur le calcul différentiel que l'on puisse considérer comme complet et qui a servi de modèle à beaucoup de traités modernes sur le même sujet; les *Institutiones Calculi integralis,* parues de 1768 à 1770, qui résument également tout ce que l'on savait alors dans le calcul intégral, complètent beaucoup de théorèmes et en améliorent les démonstrations; l'*Einleitung zur Algebra,* parue en 1770, dont le premier volume qui traite de l'algèbre ordinaire, contient l'un des plus anciens essais tentés pour établir les opérations fondamentales sur des bases rationnelles et le second, qui est consacré à l'analyse indéterminée, contient les solutions de quelques questions proposées par Fermat et qui n'avaient pas

encore été résolues; la *Curvarum maximi minimive proprietate gaudentium inventio nova ac facilis,* publiée en 1744, où il expose déjà l'idée générale du Calcul des variations, développée ensuite complètement par Lagrange.

Une caractéristique des traités d'Euler est d'une part l'abondance des matières et d'autre part la simplicité et la clarté avec laquelle ces matières sont présentées. Bossut dit dans son histoire des Mathématiques : « Tous ces objets sont traités avec une clarté et une méthode qui en facilitent l'étude, au point que tout lecteur médiocrement intelligent peut les suivre de lui-même et sans aucun secours étranger. » Il déclare plus loin que la réunion des trois premiers ouvrages dont j'ai parlé « compose le plus vaste et le plus beau corps de science analytique que l'esprit humain ait jamais produit ».

En géométrie, outre de nouveaux et importants résultats en géométrie analytique dans la seconde partie de son Introductio, son nom est attaché à plusieurs théorèmes de géométrie pure. Il développa l'idée de Jean Bernouilli que la trigonométrie est une branche de l'analyse et compléta la trigonométrie plane et la trigonométrie sphérique.

En mécanique et physique, il publia, à côté de très nombreux mémoires (en particulier sur l'hydrostatique et l'hydrodynamique), cinq ouvrages importants. Deux sont, sauf erreur, les premiers traités de mécanique analytique parus sur le mouvement du point et du corps solide libre ou en mouvement autour d'un point fixe. Le troisième est son traité de l'art musical; les deux derniers sont sa *Constructio lentium,* 1762, et surtout sa célèbre *Dioptrica* parue de 1769 à 1771 en trois volumes et qui contient toutes ses nombreuses recherches sur l'optique.

En astronomie, qu'il me suffise de dire que sur les douze prix de concours qu'il gagna à l'Académie des Sciences de Paris, faisant un total approximatif de 30.000 livres, sept furent pour des mémoires de mécanique céleste, et deux de ces mémoires, ceux de 1748 et de 1752, lui valurent presque à eux seuls l'honneur, qui n'a été accordé depuis à aucun autre savant, d'être nommé, contre la règle, neuvième membre Associé étranger de cette Académie, avec la décision que la prochaine place vacante ne serait pas repourvue.

Faute de temps et de place, force m'est de me contenter de ces brèves indications. Je ne donnerai plus que le récit suivant

de sa mort, par une attaque d'apoplexie à 76 ans, fait par Condorcet déjà nommé:

« Le 7 septembre 1783, après s'être amusé à calculer sur une ardoise les lois du mouvement ascensionel des machines aérostatiques, dont la découverte récente occupoit alors toute l'Europe, il dina avec M. Lexell et sa famille, parla de la planète d'Herschel et des calculs qui en déterminent l'orbite; peu de temps après il fit venir son petit-fils, avec lequel il badinoit en prenant quelques tasses de thé, lorsque tout-à-coup, la pipe qu'il tenoit à la main lui échappa, et *il cessa de calculer et de vivre.* Telle fut la fin d'un des hommes les plus grands et les plus extraordinaires que la Nature ait jamais produits; dont le génie fut également capable des plus grands efforts et du travail le plus continu, qui multiplia ses productions au-delà de ce qu'on eût osé attendre des forces humaines, et qui cependant fut original dans chacune; dont la tête fut toujours occupée et l'âme toujours calme, qui enfin, par une destinée malheureusement trop rare, réunit et mérita de réunir un bonheur presque sans nuage, à une gloire qui ne fut jamais contestée. »

Le bernois **Jacob Steiner,** « le plus grand géomètre depuis Apollonius », d'après l'Histoire des mathématiques de Rouse-Ball, est né à Utzenstorf le 18 mars 1796. Il passa la plus grande partie de son enfance, dit le Dr C. F. Geiser,[1] ancien professeur au Polytechnicum, dans une biographie alliant l'humour, la poésie et une compétence entière intitulée: *Zur Erinnerung an Jakob Steiner* et donnée ici-même, c'est-à-dire en session annuelle de la S. H. S. N. à Schaffhouse en 1873 à la section mathématique,[2] non pas à souffler dans un pipeau, comme un idyllique berger de Gessner, mais plus simplement travaillant dès qu'il put le faire, avec ses frères et sœurs, aux quotidiennes et prosaïques besognes de la petite exploitation agricole de ses parents. A l'école primaire, dit encore Geiser, la branche principale consistait à se mettre en mémoire le catéchisme de Heidelberg et le livre de Chant et le régent du village renvoyait jusqu'à quatorze ans la tâche difficile d'apprendre à écrire. Aussi Steiner eut-il toute sa vie ce qu'on peut appeler la main lourde et inhabile au travail mécanique de l'écriture.

Dans un tel cadre, il ne fut naturellement pas un enfant prodige; il eut pourtant de bonne heure l'intuition qu'il était appelé à une vocation supérieure et lorsque vers dix-sept ans, il entendit discuter dans son village de l'établissement de Pestalozzi à Yverdon, il eut bientôt le sentiment, si ce n'est la claire raison, que c'était

[1] Voir la note au bas de la p. 2.

[2] Voir Actes de la S. H. S. N., Schaffhouse, 1873, p. 215.

par là qu'il devait avancer. Une fois fixé, il mit à réaliser son projet toute la ténacité d'un bernois de vieille souche. Le père économe et travailleur et comptant sur ce fils qui montrait les mêmes dispositions, alors qu'un plus jeune ne semblait pas suivre la même voie, lui refusa d'abord l'argent nécessaire. Jacob y mit le pécule qu'il avait amassé par un petit commerce, le père finit par y ajouter un peu du sien et le fils s'en alla vers Yverdon et sa nouvelle destinée.

L'établissement de Pestalozzi à Yverdon était à ce moment déjà dans son déclin. Steiner n'y apprit guère en fait de connaissances positives; il y apprit par contre la méthode de travail et d'enseignement, consistant surtout dans l'effort et la réflexion personnels et l'exigence de cet effort et de cette réflexion chez l'élève qu'on instruit. Une caractéristique de Steiner, qui donnait plus tard à ses cours universitaires un charme particulier, était sa méthode socratique de tâter à chaque instant jusqu'à quel point l'élève avait compris: il l'avait prise de Pestalozzi.

Il quitta Yverdon à vingt-deux ans, avec cette fois le but clair de vouer sa vie aux mathématiques et avant tout à la géométrie. Pour poursuivre ses études, il alla à Heidelberg, donnant des leçons particulières pour payer son entretien. Trois ans plus tard, il eut quelque temps une place dans un établissement d'enseignement privé à Berlin, puis un essai d'enseignement au gymnase Frédéric Werder; mais la rudesse gauche du suisse s'adaptait mal au caractère spécifique du milieu berlinois. Il pensait en partir; pourtant la réputation de son enseignement remarquable commençait à se faire et à ce moment sa bonne étoile le conduisit dans la maison de Guillaume de Humboldt, qui lui fit donner des leçons à son fils aîné.

Ce fut la borne d'où il commença à parcourir sa carrière de pied ferme. En entrant dans la maison des Humboldt un illustre protecteur lui était venu, Alexandre de Humboldt, à qui la science allemande doit beaucoup aussi, en faveur de Dirichlet et de Jacobi. Dès ce moment aussi, les amitiés et les relations scientifiques lui viennent; en particulier celles du jeune Abel qui complétait en ce moment sa formation à Berlin, de l'Oberbaurat Adam-Louis Crelle et de Jacobi surtout. Grâce aux efforts réunis de Jacobi et de Humboldt, en 1834 une chaire extraordinaire était établie pour Steiner à l'Université de Berlin et il était reçu membre de l'Académie royale de Prusse.

Il est temps maintenant de parler de ses travaux. Les premiers mémoires de Steiner parus, en partie dans les Annales de Gergonne, en partie dans les premiers volumes du Journal de Crelle, ne décèlent pas encore le génie qui ouvre des voies nouvelles, mais déjà le maître qui sait voir sous des formes diverses les problèmes posés par les figures géométriques. Ils traitent principalement du cercle et de la sphère. Vinrent ensuite des travaux contenant une abondance de résultats en lieux géométriques qui sont des coniques ou des surfaces du second degré. Le plus important de ces mémoires est dans le vol. 19 des Annales de Gergonne et est intitulé: *Développement d'une série de théorèmes relatifs aux sections coniques.* Il rassembla plus tard le contenu essentiel de ces travaux pour en faire l'objet de leçons universitaires qu'il donna à plusieurs reprises sous le titre: *Populäre Kegelschnitte,* et dont le charme était, qu'il y déduisait comme en se jouant les plus beaux théorèmes sur les sections coniques de la solution d'un simple problème élémentaire de maximum et de minimum.

Mais l'œuvre essentielle de Steiner, l'œuvre créatrice qui lui assurait son avenir et sa gloire, est sa: *Systematische Entwicklung der Abhängigkeit geometrischer Gestalten voneinander,* parue en 1832. Il ne m'est pas possible ici, ni de discuter cet ouvrage, ni même de donner les raisons de sa valeur, ni surtout de vous résumer le brillant exposé que fait C. Geiser, dans le mémoire qui me sert, du développement de la géométrie, après qu'elle fut restée coite pendant une bonne partie du XVIIIe siècle (pendant que l'analyse avec Euler, Lagrange et Laplace prenait le premier plan), principalement avec la *Géométrie descriptive* et les *Applications de l'Analyse à la Géométrie* de Monge et le traité des *Propriétés projectives des figures* de Poncelet. Ce traité fut suivi d'une polémique regrettable où la susceptibilité de Poncelet eut à faire à des procédés de Gergonne qui ne furent pas toujours loyaux et à un mauvais vouloir indéniable de Cauchy, jusqu'au moment où Steiner, avec son œuvre, comme dit Geiser:

« auf den Kampfplatz trat, die Bilanz des Streites zog und im vollsten Sinne des Wortes der Wissenschaft neue Bahnen wies, die sie bis auf den heutigen Tag noch nicht vollständig ausgemessen hat. »

Steiner s'occupa de bonne heure aussi des courbes algébriques de degré supérieur au second. Ses recherches sur les courbes du

troisième degré furent étendues, mais ne furent malheureusement pas publiées alors qu'elles auraient été nouvelles. Un mémoire court, mais de plus d'importance sont ses: *Allgemeine Eigenschaften der algebraischen Kurven* dans le tome 47 du Journal de Crelle, et un autre plus considérable est intitulé: *Über solche algebraische Kurven, welche Mittelpunkte haben.* Il s'occupa également des surfaces algébriques. Il se rencontra avec Cayley, Salmon et Cremona dans l'étude des surfaces du troisième ordre, qui en partie par ses procédés fut rendue aussi simple et aussi facile que celle des surfaces du second ordre.

Ses travaux se rapportant à la géométrie infinitésimale ont également un intérêt particulier. Au sujet du célèbre mémoire de Steiner: *Sur le maximum et le minimum des figures* (Journal de Crelle, tome 24), C. Geiser dit:

« Ohne alle Frage hat Steiner bedeutendere, für die Wissenschaft wichtigere Leistungen aufzuweisen, als diese Untersuchungen, und doch stehe ich nicht an, sie in bezug auf Form und Inhalt als das Glänzendste zu erklären, was die Überfülle seines Genius geleistet hat. Über die kleinsten Dinge weiss er ein helles Licht zu ergiessen, welches sie interessant macht, indem man sie in Zusammenhang mit höhern Gebilden erkennt, und umgekehrt werden Probleme, die vor ihm unlösbar schienen, mit spielender Leichtigkeit auf ganz elementare Sätze zurückgeführt. »

Steiner fut le géomètre pur, si bien que souvent on l'a dit à tort adversaire des méthodes analytiques. On a prétendu aussi qu'il connaissait davantage en analyse qu'il n'en avait l'air et qu'il aurait: «bei verschlossenen Thüren heimlich Constanten abgezählt.» La vérité est que dans la première période et dans celle de ses grandes productions scientifiques, il suivit son génie propre qui était essentiellement synthétique; par contre, lorsque plus tard il aborda la théorie des courbes et des surfaces algébriques de degré supérieur, il sut habilement se servir de théorèmes pris à l'analyse ou à l'algèbre, ou il eut recours aussi parfois, dans des questions d'analyse qui lui étaient moins familières, à ses amis Jacobi, Aronhold ou Schläfli.

La fin de sa vie fut attristée par des infirmités diverses, infirmités du corps qui lui vinrent partiellement par sa faute, infirmités de l'âme qui assombrirent ses dernières années et le rendirent à charge à lui-même et aux autres. Il mourut à Berne le 1er avril 1863.

* * *

Mesdames et Messieurs, il est temps maintenant de terminer. Si vous me permettez de paraphraser encore le poète, je vous dirai: Aussi bien que ceux qui sont morts pour constituer le glorieux passé militaire de la patrie ont droit qu'à leur tombeau la foule vienne et prie, aussi bien ceux qui ont peiné toute leur vie du rude travail intellectuel pour constituer le glorieux passé scientifique de la patrie (je ne parle ici pas seulement des mathématiciens) ont droit qu'un jour leurs noms soient proclamés pour que devant eux on s'incline avec respect, et quel endroit serait mieux choisi pour cette proclamation que cette assemblée de la S. H. S. N.? C'est nous qui avons recueilli leur héritage et qui avons le lourd devoir de le garder et de l'agrandir. C'est à nous qu'il incombe avant tous, d'apporter à ces hommes d'intelligence et de travail qui firent, après sa grandeur militaire, la grandeur intellectuelle et scientifique de notre pays, le tribut d'hommage et de reconnaissance qui leur revient, avec la promesse sacrée que de toutes nos forces nous continuerons leur œuvre. C'est dans ces sentiments que je déclare ouverte la 107e session de la S. H. S. N.

Les « ponts de Fribourg »

Conférence faite en assemblée générale de la 107e session annuelle de la S. H. S. N., à Fribourg le 29 août 1926

par

A. Rohn (Zurich)

(Des 62 projections ayant illustré cette conférence, les « Actes » en reproduisent 16)

Mesdames, Messieurs,

C'est avec un plaisir tout particulier que j'ai répondu à l'appel de votre président annuel, M. le prof. Bays, lorsqu'il m'a demandé d'inaugurer les rapports présentés à cette session de votre Société par une conférence « pour Fribourg », et traitant des « ponts de Fribourg ».

Je sais que les ingénieurs se meuvent à la périphérie de votre Société; de temps à autre, mais bien rarement, ils s'y font entendre. Il m'est donc particulièrement agréable d'avoir l'honneur — malgré ma qualité d'ingénieur — de vous entretenir quelques instants en assemblée générale.

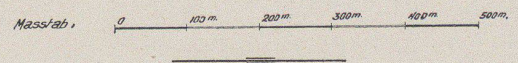
Je m'empresse du reste de reconnaître que l'intention du Comité annuel en me demandant cette conférence a été avant tout le désir de faire valoir Fribourg « ville de ponts », ponts d'ingénieur certes, mais avant tout ponts spirituels destinés à mieux lier notre Suisse romande à notre Suisse allemande. Nulle part en effet entre ces deux parties de notre pays la nature n'a créé de vallon plus marqué, mais le peuple de Fribourg a compris et cela surtout ces dernières années — alors que l'art des ponts de tous genres semblait sombrer dans la dépression économique générale de notre pays — qu'à l'époque actuelle les ravins et les fossés sont surtout là pour les franchir le plus commodément possible.

Je bénéficie donc ce soir de cette ambiance fribourgeoise qui veut créer des ponts. Après avoir eu l'avantage de contribuer quelque peu depuis cinq ans environ à quelques-uns de ces travaux, j'apprécie certes à valeur égale, d'une part l'énergie du peuple de Fribourg et de son gouvernement, quand il s'agit de créer de

Planche 1. *Quelques-uns des plus grands représentants des divers types de ponts*

Echelle : 1 : 10,000

Fig. 1. Zusammenstellung einiger der weitestgespannten Brücken der verschiedenen Bauarten :



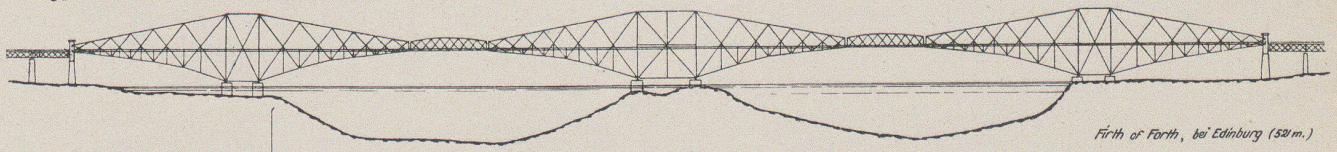
Balkenbrücken :

einfache Balken

Mississippi, St. Louis (204 m.)

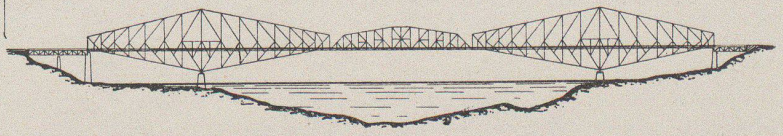
Rhein, Köln (168 m.)

durchlaufende Balken



Firth of Forth, bei Edinburg (521 m.)

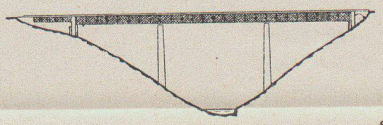
mit Mittelgelenken



St. Lawrence, Quebec (549 m.)

Ohio, Sciotoville (236 m.)

ohne Mittelgelenke



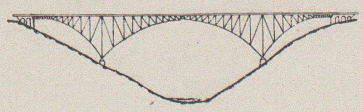
Sioule, bei Clermont-Ferrand (144 m.)

Bogenbrücken :

aus Eisen

East-River, New-York (298 m.)

Viaur, bei Rodez (221 m.)



aus Eisenbeton

Mississippi, Minneapolis (122 m.)

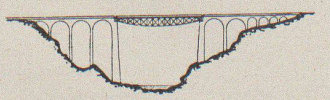
Seine, Saint-Pierre du Vauvray (132 m.)

Hängebrücken :

Donau, Budapest (290 m.)

Delaware, Philadelphia (534 m.)

zum Vergleich : einige grösste Brücken der Schweiz



Sitter, B.T.B. bei Bruggen (120 m.)

Saane, Freiburg (56 m.)

Hundwilertobel, Urnäsch (105 m.)

NB. : Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die grösste Brückenöffnung.

Zürich, Aug. 1926.

grandes œuvres d'art, et d'autre part la mentalité si parfaitement suisse, si cordiale et si franche qui préside à ces créations, mentalité qui au-delà de l'œuvre de l'ingénieur en fait des œuvres de concorde et de liaison.

Et si vous me permettez encore un « merci » personnel, c'est celui du professeur de construction de ponts, qui venant de clore sa carrière d'enseignement à l'Ecole polytechnique fédérale, éprouve une satisfaction très grande à pouvoir encore une fois prendre la parole dans ce domaine qui lui est cher et cela dans une assemblée de cette Société helvétique des Sciences naturelles, qui est l'une des gloires les plus pures de la vie scientifique de notre pays.

* * *

Et maintenant, Mesdames, Messieurs, permettez-moi, avant de vous parler de nos ponts de Fribourg, de vous donner à l'aide d'une seule image un bref aperçu de l'art des ponts en général et des dimensions que ces ouvrages ont atteintes à ce jour. J'ai groupé à même échelle sur la planche 1 quelques-uns des plus grands représentants des divers types de ponts existants: Ce sont d'abord ceux à réactions verticales (par suite de surcharges verticales), les poutres simples (St-Louis, Cologne), les poutres continues articulées (Forth, Quebec) et les poutres continues non articulées (Fades, Sciotoville), puis les ponts à réactions obliques, les arcs (Hellgate, Viaur, Cappelen, St-Pierre du Vauvray) et les ponts suspendus (Philadelphie, Budapest).

Cette planche nous montre pour chaque type de pont un spécimen européen et un spécimen américain. Il s'agit des plus grandes ouvertures entre piles et non pas des plus grandes longueurs totales des ponts qui présentent moins d'intérêt au point de vue technique. Le pont sur le St-Laurent près Quebec détient à l'heure qu'il est le record de la distance entre piles, 549 m, soit presque exactement le double de la distance entre les pylônes de l'ancien « grand pont suspendu » ou la longueur totale du pont de Pérolles, en une seule ouverture. Ces travées immenses sont fort coûteuses et sont uniquement la conséquence de la profondeur du fleuve qui empêche toute construction de pile à moindre distance. Notre compatriote, l'ingénieur Ammann, poursuit avec succès les études d'un pont sur l'Hudson à New York, dont la portée serait de 1036 m.

Toutes ces plus grandes travées du monde n'ont pu être construites qu'en fer. J'ai représenté à côté des arcs métalliques les deux plus grandes arches en béton armé (Cappelen et St-Pierre du Vauvray) et au bas de cette planche 1, à titre de comparaison, trois de plus grands ponts exécutés en Suisse (Sitter, Pérolles et Hundwil).

* * *

Après cet aperçu sommaire revenons en bons Suisses aux solutions simples et modestes que la nature nous a seules et en toutes choses permises et constatons d'abord que Fribourg et ses environs groupent un nombre de ponts de grande envergure, tel qu'aucune autre ville suisse ne peut les montrer. Ce sont — respect aux vieux ponts — les ponts sur la Sarine, dans la basse ville, nous rappelant les modestes exigences du passé — où l'on se contentait de passer les rivières le plus bas possible, quitte à prévoir de longues rampes d'accès très raides des deux côtés. Ce sont les ponts de Berne, du Milieu et de St-Jean, dont le premier fut longtemps la « clef » de la ville, car il n'existe pas de route entre les ponts de Berne et du Milieu par la rive droite, le pont du Gotteron, dernier vestige des ponts suspendus qui furent dès 1835—1840 la « gloire technique » de Fribourg, le pont de la Glâne, affluent de la Sarine, sur la route de Fribourg à Bulle, rive gauche, puis les deux nouveaux ponts-route sur la Sarine, soit le pont de Pérolles et le pont de Zæhringen, ce dernier ayant remplacé le grand pont suspendu, et enfin le viaduc de Grandfey, le plus long et le plus élevé des ponts de chemin de fer de notre pays.

C'est de ces huit ponts que je désire vous entretenir, en m'en tenant surtout aux grandes œuvres créées ces dernières années.

Les vieux ponts d'abord:

Le premier tablier en bois, construit vers 1230 sur l'emplacement actuel du *pont de Berne* (après que Berchtold IV, duc de Zæhringen, eut accordé en 1178 à Fribourg, soit « libre bourg », une charte de liberté) fut appuyé sur des chevalets de bois, remplacés plus tard par des piles en maçonnerie.

Ce fut le type des ponts du moyen âge, à mauvaises fondations — plus mauvaises que les Romains ne les firent — et emportés par toute crue importante.

La forme actuelle du pont (fig. 2, vue aval) — deux ouvertures, une seule pile en rivière, toiture — date de la fin du XVIIe siècle.

Fig. 2. Pont de Berne, vue aval

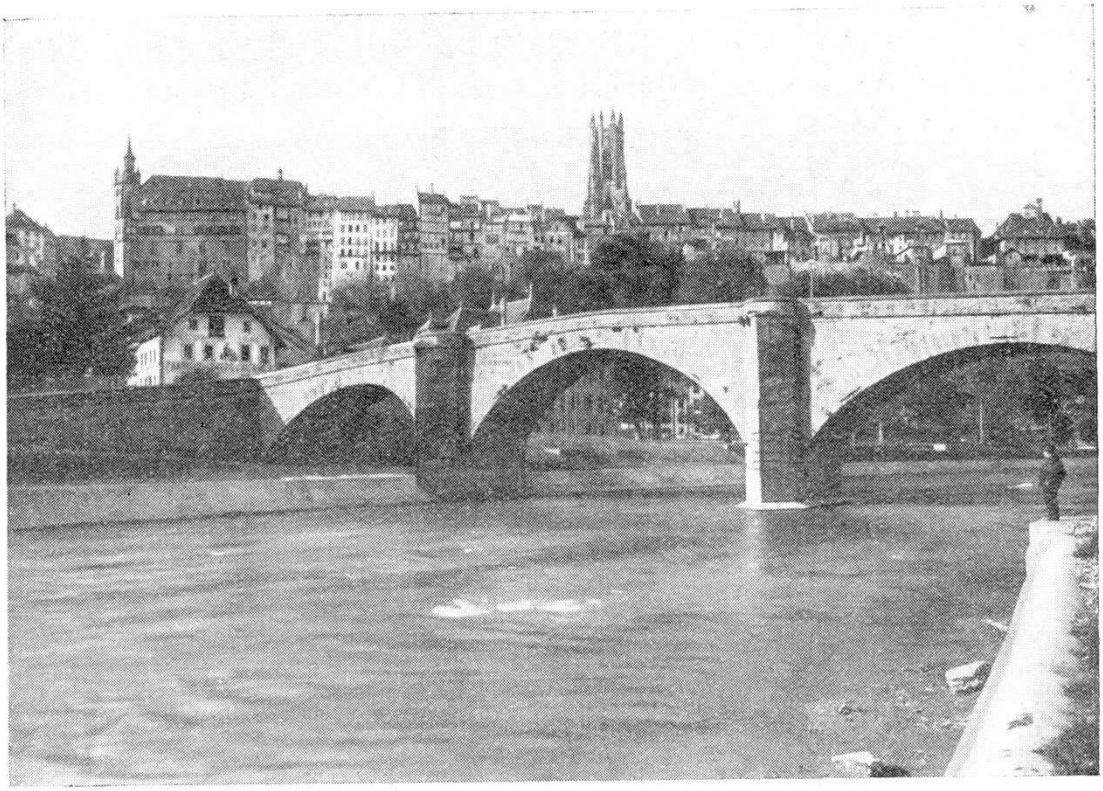


Fig. 3. Pont de St-Jean, vue amont

Durant le siècle dernier la pile fut reconstruite, puis consolidée. L'an dernier on exécuta un renforcement durable de cette pile à l'aide d'une paroi en bois mobile foncée autour de la pile. Une gaîne en ciment armé fut posée à l'intérieur de ce batardeau autour de l'ancien fût de la pile construit en molasse et profondément érodé.

Pourquoi ce très vieux et premier pont fut-il construit en bois? Sans doute pour motifs stratégiques, pour faciliter la défense de Fribourg exposée alors aux incursions des Bernois débouchant de la vallée du Gotteron. Il suffisait aux Fribourgeois d'enlever le plancher de bois du pont pour intercepter l'accès de la ville. Plus tard, l'on maintint la forme et le matériel du pont en hommage à la tradition.

Le *pont du Milieu* ou des Tisserands, primitivement en bois aussi, fut reconstruit en pierre en 1720. Il a trois ouvertures, séparées par des piles aux larges avant-becs donnant aux voûtes ces épaules d'aspect si résistant qu'ont presque tous les vieux ponts du XVIIIe siècle.

Le *pont de St-Jean,* qui fut aussi jadis édifié en bois, a été reconstruit en pierre en 1746 à trois ouvertures également (fig. 3, vue amont); les pilastres posés sur les avant-becs des piles atteignent la chaussée et motivent fort bien les refuges qui l'élargissent. C'est un type à imiter en vue de donner une bonne impression de résistance aux arches.

Le *pont du Gotteron* (fig. 4, vue prise de la rive gauche), le dernier survivant à Fribourg-ville de l'âge d'or des ponts suspendus qui permirent durant la première moitié du XIXe siècle, après les premiers progrès de la fabrication du fer laminé, en particulier du fil de fer, de franchir en une travée et à bon compte des ouvertures immenses comparées à celles des ponts en pierre existant alors. Dès 1850 le développement intense des aciéries et de la fabrication en grand des fers laminés (fer soudé) permit de passer à la construction de ponts métalliques plus rigides que les ponts suspendus de ce temps-là. Il est toutefois fort regrettable que ce beau type de pont tende, du moins dans notre pays, à disparaître, faute de l'avoir disposé dans des conditions de résistance analogues à celles d'autres types de ponts.

La forme des câbles d'un pont suspendu se modifierait constamment sous l'effet de toute charge roulante, elle s'adapterait à

cette charge, si ces câbles n'étaient raidis par des poutres placées dans le plan des câbles, donc parallèlement à la chaussée. Ces poutres raidissantes doivent assurer, fixer la forme des câbles, c'est-à-dire répartir les charges roulantes sur toute leur longueur (un câble de forme parabolique par exemple ne peut transmettre qu'une charge uniformément répartie). Si les poutres raidissantes sont trop faibles — c'est le cas de tous les anciens ponts suspen-

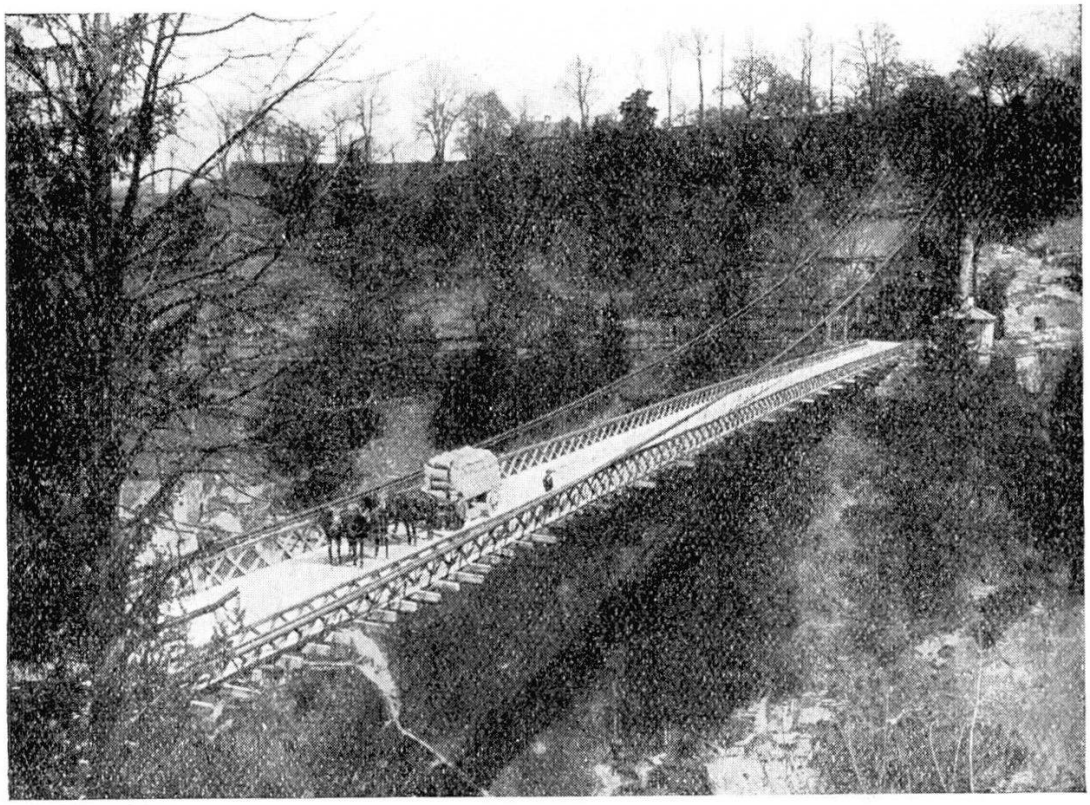


Fig. 4. Pont du Gotteron

dus — elles épousent en partie les déformations des câbles au lieu de fixer leur forme. Les câbles des ponts suspendus de Fribourg n'ont été raidis que par des garde-corps de bois de 1,05 m de hauteur. On a dû diminuer de plus en plus le poids des charges roulantes et la vitesse de leur passage.

Le pont du Gotteron fut construit en 1840 par l'ingénieur français Chaley qui avait terminé cinq ans auparavant le grand pont suspendu, la longueur du tablier est de 151 m, sa hauteur au-dessus du fond de la vallée 75 m. Il a été construit dans des conditions extraordinairement avantageuses, les câbles ayant pu être amarrés dans la molasse de deux côtés du pont sans aucun

emploi de maçonnerie. Ce pont présente la spécialité très rare de n'être en somme qu'un demi-pont suspendu, ses câbles étant ancrés d'un côté (rive gauche) à hauteur du tablier.

Les câbles furent doublés en 1895, on réduisit alors la fatigue du matériel à 1800 kg/cm² pour une surcharge accidentelle très faible, soit 100 kg/m² (au lieu de 300 ou 400). Ce pont dont les faiblesses se sont manifestées en 1919 — un chariot trop lourdement chargé fut précipité dans le vide par suite de rupture des attaches du tablier de bois et de celui-ci même — est sans doute destiné à être remplacé dès que les finances cantonales le permettront et ceci après l'effort très remarquable que Fribourg a fait depuis 1920 en exécutant des travaux de ponts pour 7 millions de francs environ. Ce remplacement est du reste moins urgent à l'heure qu'il est, vu que le pont de Pérolles a créé une nouvelle voie d'accès à la route de Bulle — qui permet aux camions lourds d'éviter ce pont trop léger.

Le *pont de la Glâne,* à 2 1/2 km au sud de Fribourg, à 200 m de l'embouchure de la Glâne dans la Sarine, fut construit d'après les plans du colonel La Nicca, de 1852 à 1858. Un projet de pont suspendu était prêt en 1852, mais une catastrophe survenue en France à un pont suspendu mal raidi fit abandonner ce projet.

Ce pont a huit ouvertures de 13,5 m et 53 m de hauteur maximum au-dessus de la rivière. Il a l'aspect classique des vieux ponts romains et rappelle quelque peu, surtout par son sous-pont, par son palier intermédiaire, dont les voûtes surbaissées arcboutent les piles, le pont-aqueduc du Gard dont les piles furent raidies par deux séries de voûtes superposées. Sa largeur est de 9 m, dont 6 m pour la chaussée. Ce pont fut exécuté en pierre de taille, en molasse des falaises environnantes. Depuis lors on a renoncé à utiliser cette molasse trop friable et facilement érodée par la pluie et le vent pour des œuvres d'art durables. L'espace entre les voûtes et la route est évidé à l'aide de trois galeries longitudinales recouvertes de petites voûtes d'élégissement.

Ce viaduc à l'aspect si harmonieux et si résistant souffre d'une maladie interne, commune à bien des ouvrages d'il y a 70 ans, c'est la mauvaise qualité du mortier à base de chaux blanche. L'âge a pulvérisé en partie ce mortier; les voussoirs des voûtes d'élégissement se sont tassés, certains de leurs joints sont vides à 60 cm de profondeur. Les voûtes montrent des fissures longitudi-

nales en maint endroit, de même les piles. L'examen des fondations de deux piles a démontré que la cause de ces fissures ne peut résider dans un tassement notable du sol rocheux des fondations. Il s'agit à notre avis plutôt d'un tassement interne produit par la désagrégation ou la malfaçon des lits de mortier. La grande longueur des voussoirs (1,5 m) a contribué à leur fissuration, par effet de flexion, la charge n'étant pas transmise uniformément.

Après les efforts considérables faits par le canton de Fribourg ces dernières années en vue d'améliorer les voies d'accès au chef-lieu il a fallu chercher à sauver ce beau pont avec un minimum de frais. Les travaux de réfection en cours actuellement prévoient essentiellement le rétablissement des lits de mortier. Les joints sont nettoyés et lavés à l'eau sous pression, puis les joints étant fermés au dehors, les lits sont injectés au ciment sous pression.

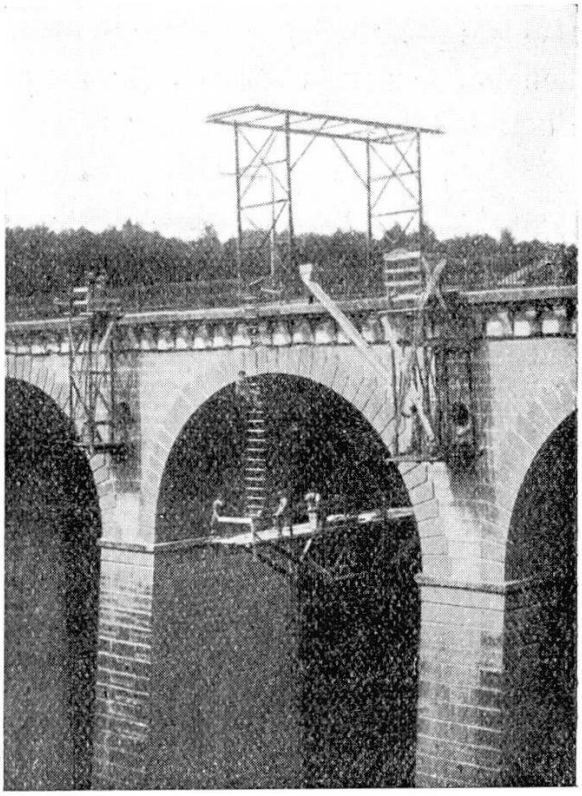


Fig. 5. Pont de la Glâne, réfection

Il a fallu pour ces opérations rendre accessible les voûtes d'élégissement par des échelles conduisant à l'œil de bœuf placé sur chaque pile et de même tout l'intrados de voûtes au moyen d'un pont volant, suspendu à un pont roulant, circulant sur les trottoirs et laissant libre tout l'espace sur la chaussée nécessité par la circulation (fig. 5).

L'on a introduit au maximum en un trou d'injection d'une voûte d'élégissement 530 litres de ciment. Le mortier injecté dans les voûtes principales représente une épaisseur rapportée à tous les lits d'appui des voussoirs d'un demi-cm au moins. Il était donc urgent d'améliorer les assises de ces voussoirs.

Il est prévu en outre l'adjonction de deux tirants en ciment armé de chaque côté de la clef des voûtes. Ces tirants doivent

obvier aux poussées au vide exercées par les voûtes d'élégissement, ils lient le matériel des voûtes principales. Ces tirants en béton armé sont moins déformables que des entraits en fer et satisfont ainsi mieux au but de liaison rigide prévu.

* * *

Passons maintenant aux deux grandes œuvres d'art exécutées ces dernières années et qui honorent tout particulièrement l'initiative de M. Buchs, directeur des Travaux publics, et la compréhension des autorités et du peuple fribourgeois des nécessités de l'heure actuelle.

Les ponts suspendus de Fribourg, spécialement le « grand pont suspendu » qui vient de disparaître, ont fait par la hardiesse de leurs lignes l'admiration de tout visiteur de Fribourg, mais il furent en même temps une cause de soucis permanents pour les autorités chargées de leur surveillance et de leur entretien. La situation était devenue intolérable depuis quelques années. Le développement du camion automobile d'une part, le manque de rigidité des vieux ponts suspendus dont j'ai déjà exposé les causes en parlant du pont du Gotteron, les faibles surcharges autorisées sur ces ponts, en dernier lieu l'accident survenu en 1919 à ce pont hâtèrent — malgré les crises économiques de l'après-guerre — les décisions prises par les autorités cantonales relatives à la construction du pont de Pérolles, ouvrage neuf, ouvrant un nouvel accès à la route de Bulle rive droite, et la reconstruction du grand pont suspendu, appelé pont de Zæhringen, donnant un accès plus « ferme » au district de la Singine.

Le *pont de Pérolles,* proposé du reste dès 1874, avait déjà avant la guerre fait l'objet de concours en 1909 et 1913. Il s'agissait alors surtout de faire passer les voies ferrées de Fribourg à Bulle par La Roche et à Tavel-Planfayon sur ce nouveau pont. Les Chemins de fer électriques de la Gruyère avaient pris les $^{7}/_{10}$ du coût du pont à leur charge.

La situation du pont avait donc été choisie essentiellement en vue de l'exécution de ces voies ferrées (boulevard de Pérolles— la Schürra). Toutes décisions étaient prises lorsque la guerre interrompit leur application.

Lorsque l'on reprit l'étude de la question après la guerre, les offres du pont projeté s'élevèrent à 6 ou 7 millions au lieu des

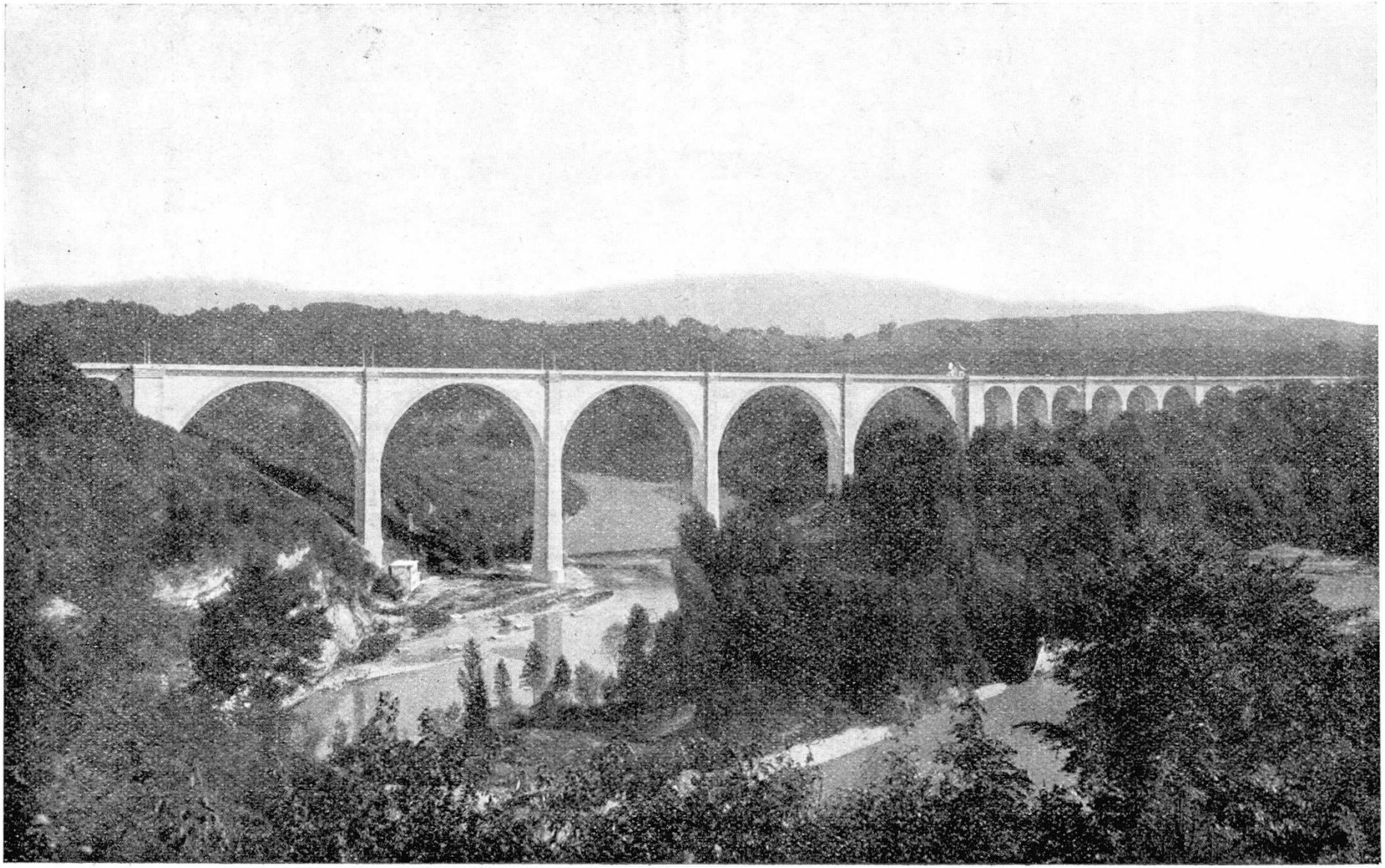


Fig. 6. Pont de Pérolles, vue amont

2 à 3 millions prévus jadis. Il fallut chercher une solution moyenne tenant compte des conditions imposées par la guerre. Il ne pouvait du reste plus être question pour l'instant de construire une voie ferrée sur Bulle; de 6 millions prévus jadis, son coût serait monté à 20 millions.

La guerre a, nous le savons tous, interrompu subitement tous les efforts de notre pays tendant à l'amélioration de ses voies ferrées. Ces efforts dans le domaine de la construction se sont du reste — ceci dit entre parenthèses — portés dès lors sur la libération économique de notre pays, sur la production d'énergie hydro-électrique.

L'Etat devait dès lors prendre à sa charge la quote-part du coût du pont imposée en 1913 aux Chemins de fer de la Gruyère.

La Direction des Travaux publics, dans l'impossibilité de proposer une dépense de 6 à 7 millions pour ce seul pont, reprit alors un tracé étudié déjà jadis, qui place le pont plus en amont et qui facilite les voies d'accès tout en abaissant le niveau de la chaussée c'est-à-dire en diminuant la hauteur de l'ouvrage.

On diminua de même la largeur du pont qui fut portée à 10 m en tout, dont 7,50 pour la chaussée et 1,25 m pour chacun des trottoirs. J'estime que ces dimensions sont largement suffisantes — l'on a rendu impossible bien des constructions de ponts en exagérant les exigences d'une circulation modeste en somme.

Les sommes mises à la disposition de la Direction des Travaux publics par le Grand Conseil pour le pont et ses voies d'accès se montèrent en tout à 4,6 millions, y compris le subside pour le chômage alloué par la Confédération. Les travaux furent adjugés à la maison Züblin à Zurich qui les a exécutés à la satisfaction des intéressés sous la direction de MM. Jæger & Lusser, ingénieurs, auteurs du projet.

Le 11 septembre 1920 eut lieu la bénédiction de la pose de la première pierre du pont par Mgr. Besson — cérémonie émouvante qui, ainsi que celle qui précéda la mise en œuvre des travaux du pont de Zæhringen — m'a laissé un souvenir durable par le caractère de belle concorde sociale entre tous les «ouvriers» de ces travaux d'art qu'elle manifesta. Je me plais à rendre hommage à cette belle coutume fribourgeoise.

Le pont de Pérolles (fig. 6, vue amont) dans ses dimensions réduites, est encore le plus long des ponts-route de notre pays,

sa longueur totale est de 555 m sur 76 m de hauteur maximum. Il comprend cinq grandes arches de 56 m d'ouverture chacune, auxquelles s'ajoute sur le plateau de Marly — rive droite — un viaduc de 200 m de longueur environ, soit 9 arches de 18 m

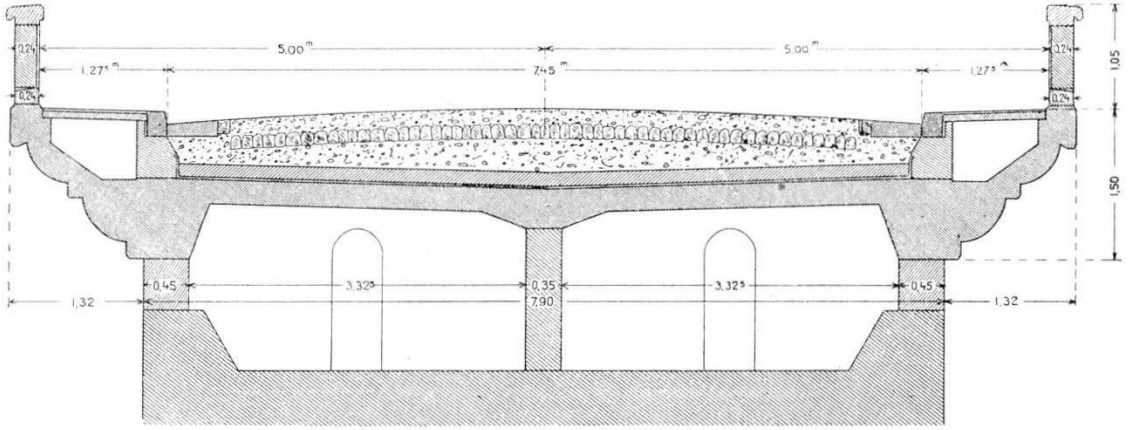


Fig. 7. Pont de Pérolles, coupe en travers

d'ouverture, placées en plan dans un arc de cercle de 500 m de rayon. Les voies d'accès n'ont que 3 % de pente en vue du passage éventuel futur de la voie ferrée sur Bulle.

L'ouverture des grandes arches n'a pas été déterminée par le lit de la Sarine, mais bien par un ravin profond, sans doute un ancien lit de la rivière franchi par la première voûte sur la rive droite; une ouverture de 40 m environ aurait été légèrement plus économique.

La coupe en travers du pont (fig. 7) représente la disposition des trottoirs sur consoles en porte à faux de 1,32 m. Ce fut un problème particulièrement intéressant d'harmoniser la largeur totale du tablier (10,54 m) à celle des voûtes (7,90 m) fortement réduite par motif d'économie.

Le plancher de béton armé repose sur une superstructure

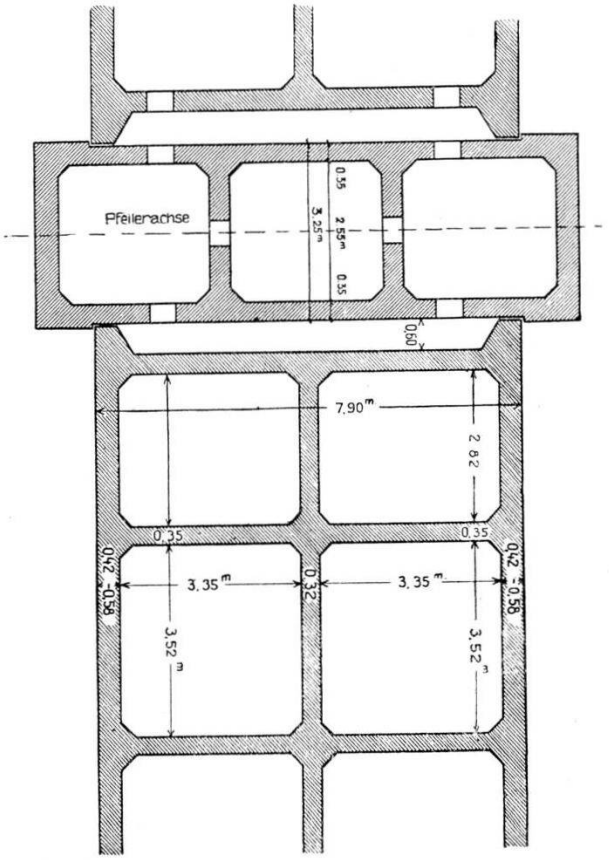


Fig. 8. Pont de Pérolles, coupe horizontale

disposée en cellules verticales (fig. 7 et 8). La coupe horizontale montre les joints de dilatation de la superstructure placés derrière les pilastres prolongeant les piles et permettant le jeu nécessité par le retrait du ciment et les effets thermiques.

La disposition générale du chantier est représentée par la fig. 9. Le pont de service inférieur placé en aval du nouveau pont reliait les deux rives et les funiculaires posés sur les deux versants.

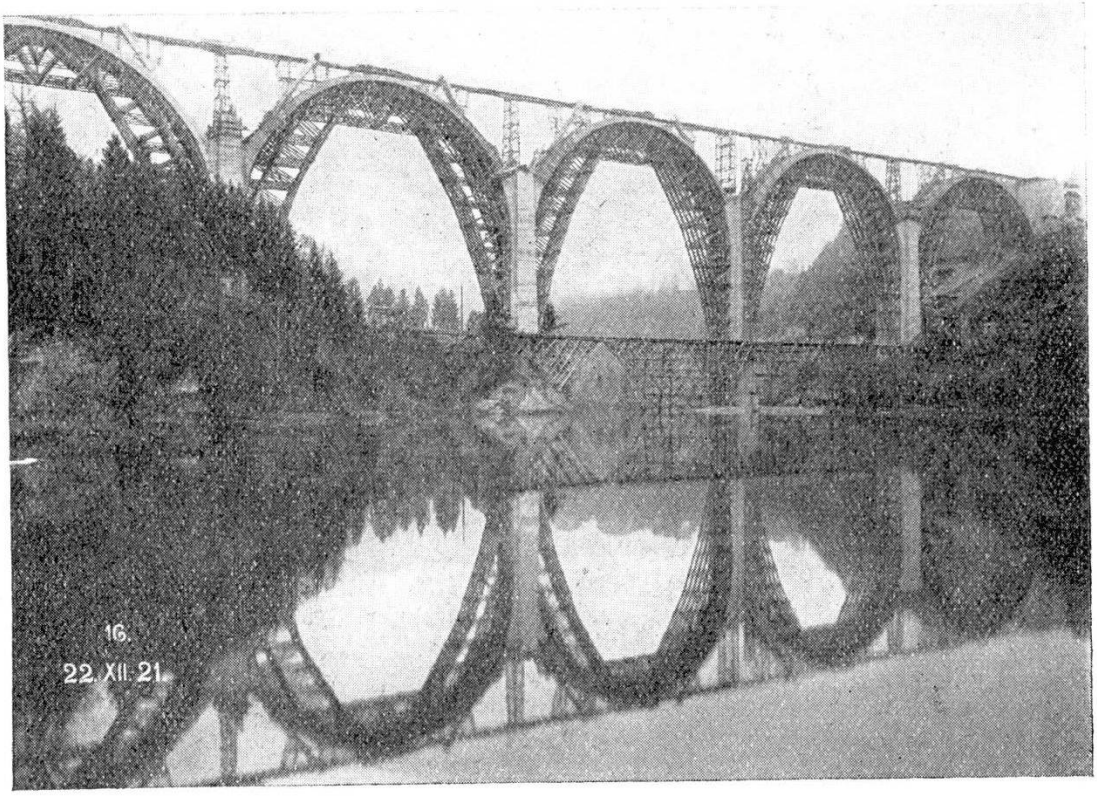


Fig 9. Pont de Pérolles, disposition du chantier (cintres)

Le gravier et le sable provenaient de la Sarine en amont; de là ces matériaux étaient transportés par téléférage sur le plateau de Marly, d'où ils étaient distribués aux divers points du chantier. La fig. 9 nous montre encore les ascenseurs à béton placés dans le plan des piles, les cintres retroussés (il aurait fallu beaucoup trop de bois pour des cintres pleins) et le pont de service supérieur posé sur les cintres et ayant servi au bétonnage des voûtes et de la superstructure, le matériel étant alors directement amené du plateau de Marly.

Tout le béton a été laissé brut — ce serait peine perdue de vouloir affiner les surfaces vues d'aussi grands ouvrages (36 500 m^3

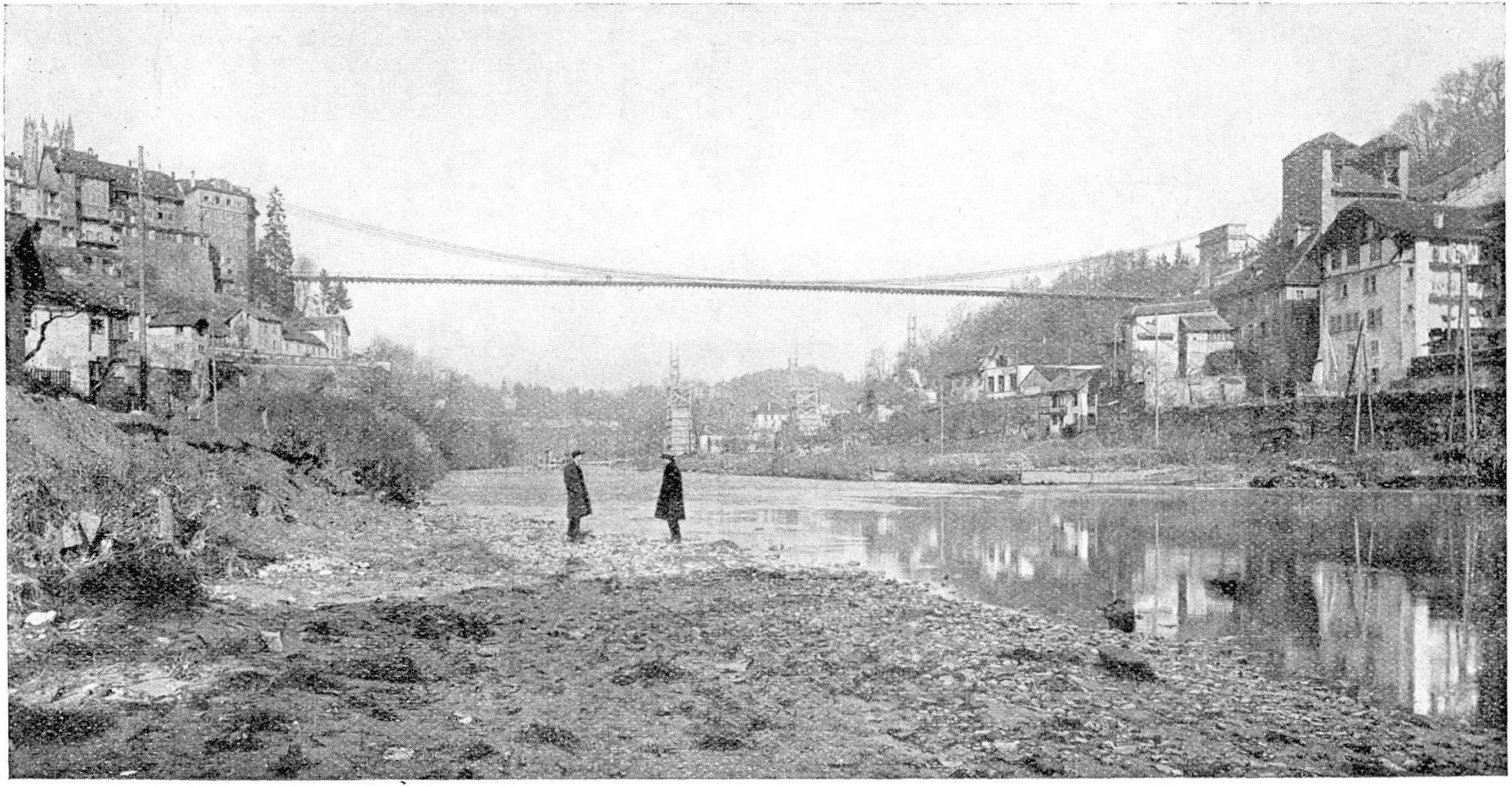


Fig. 10. Grand pont suspendu, vue amont (1834—1924)

de béton); tous les détails se perdent, ce n'est qu'aux grandes lignes qu'il faut prendre garde. Le coffrage des voûtes a toutefois été placé radialement, afin d'éviter que les arêtes de béton le long des joints du coffrage horizontal des tympans ne viennent rompre l'effet de la voûte.

Le *pont de Zœhringen* a remplacé le grand pont suspendu et présente de ce fait au point de vue esthétique un intérêt tout particulier par le problème qu'a posé la substitution d'un pont très massif d'aspect à un pont trop léger.

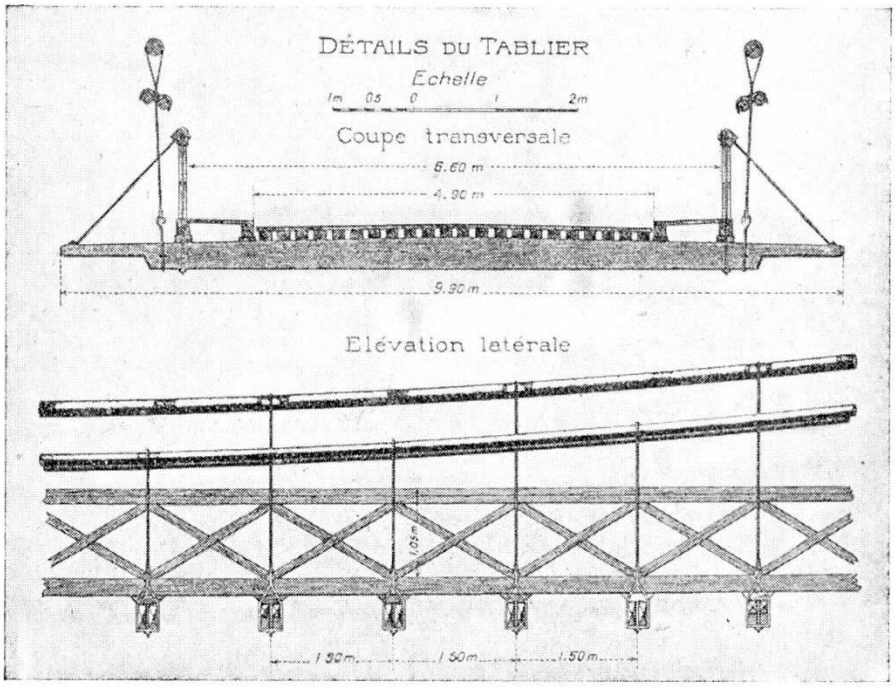


Fig. 11. Grand pont suspendu (1834—1924)

Le grand pont suspendu (fig. 10, vue amont), dont nous nous souvenons tous, avait une portée de 273 m entre les pylônes; ce fut la plus grande portée d'un pont suspendu à câbles en Europe. Cette portée n'était du reste pas en rapport avec la hauteur du tablier au-dessus de la Sarine, 51 m seulement. Pour une hauteur semblable et sans difficultés de fondation, des piles intermédiaires s'imposent (j'ai vu jadis dans les archives de M. de Montenach une esquisse du Général Dufour relative à un pont suspendu à deux ouvertures).

Permettez-moi d'accorder un bref souvenir à ce « grand pont suspendu ». La fig. 11 nous montre sa section en travers et en long, le tablier en bois très léger, les poutres raidissantes formées

par les gardes-corps de 1,05 m de hauteur — soit $^1/_{260}$ de la portée de ces poutres, au lieu de $^1/_{60}$ environ pour un pont actuel; la chaussée de 4,9 m, les trottoirs de 0,85 m de largeur, les nombreuses tiges de suspension du tablier difficiles à régler.

Lors du concours ouvert en 1920 la Direction des Travaux publics demanda en premier lieu des offres de renforcement du pont suspendu ainsi que des propositions éventuelles pour des ponts neufs, suspendus ou en maçonnerie. L'on éprouvait quelque peine à se séparer du type du pont suspendu — dont l'aspect, exception peut-être dans les annales des ponts métalliques — provoqua toujours l'admiration.

Ce concours fournit la preuve qu'un pont suspendu suffisamment rigide exigerait des poutres de raidissement des câbles très hautes (3 m au moins) qui modifieraient complètement son aspect si élégant, cher aux Fribourgeois et aux amis de Fribourg; le coût d'un pont suspendu étant d'ailleurs plus élevé que celui d'un ouvrage en maçonnerie.

La planche 12 représente quelques projets-type présentés lors du concours. La difficulté essentielle quant aux ponts à plusieurs ouvertures résidait dans le fait de la position excentrique de la Sarine dans sa vallée, elle baigne le pied de la falaise gauche sous St-Nicolas.

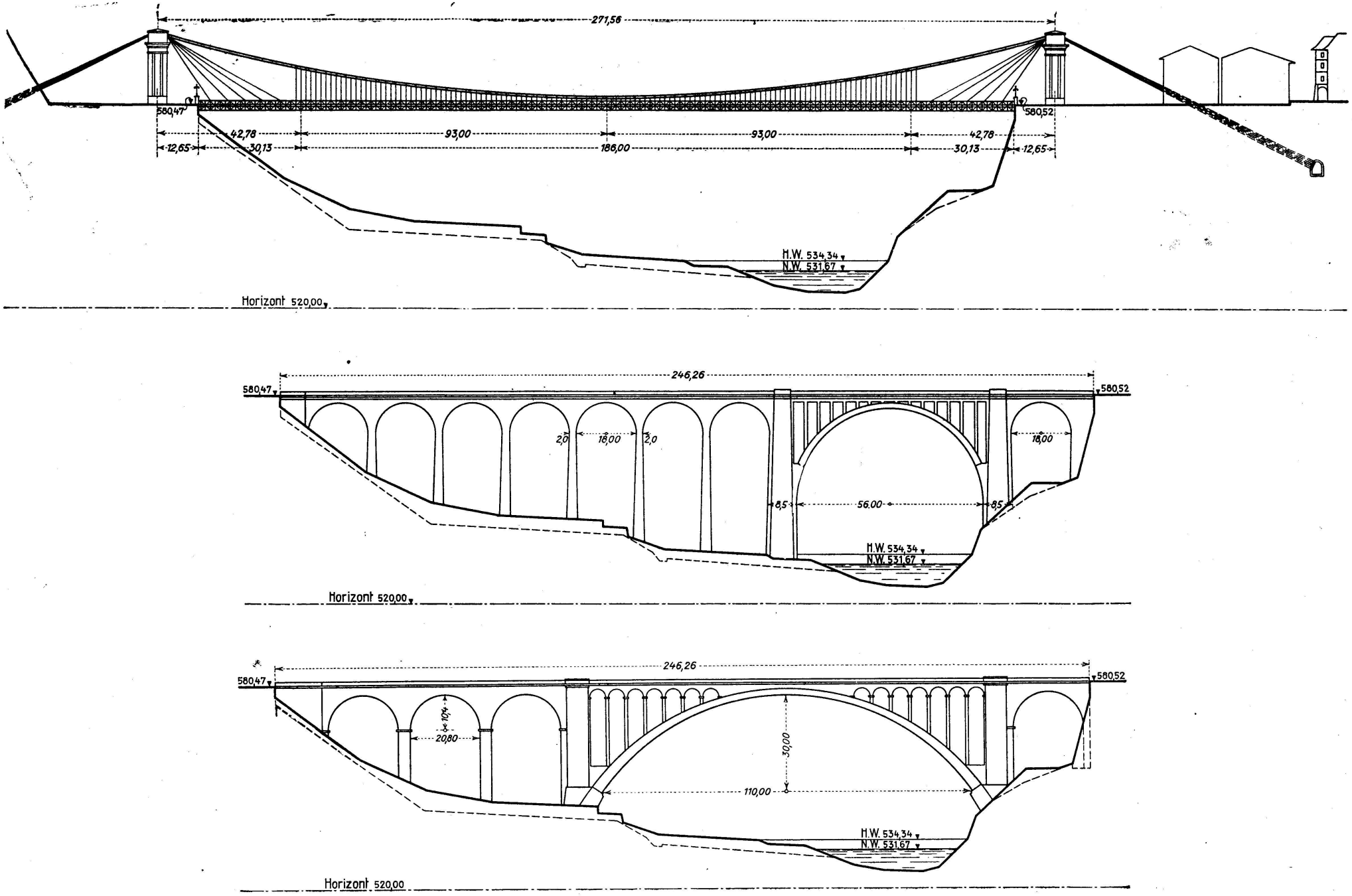
Les deux premières propositions représentent les projets dits officiels établis par la maison Arnodin d'une part et MM. Jæger & Lusser, ingénieurs-conseils d'autre part; les projets 2, 3 et 4 proposent de franchir la Sarine en une ouverture, le projet 4 cherche à mettre de la symétrie dans les lignes principales.

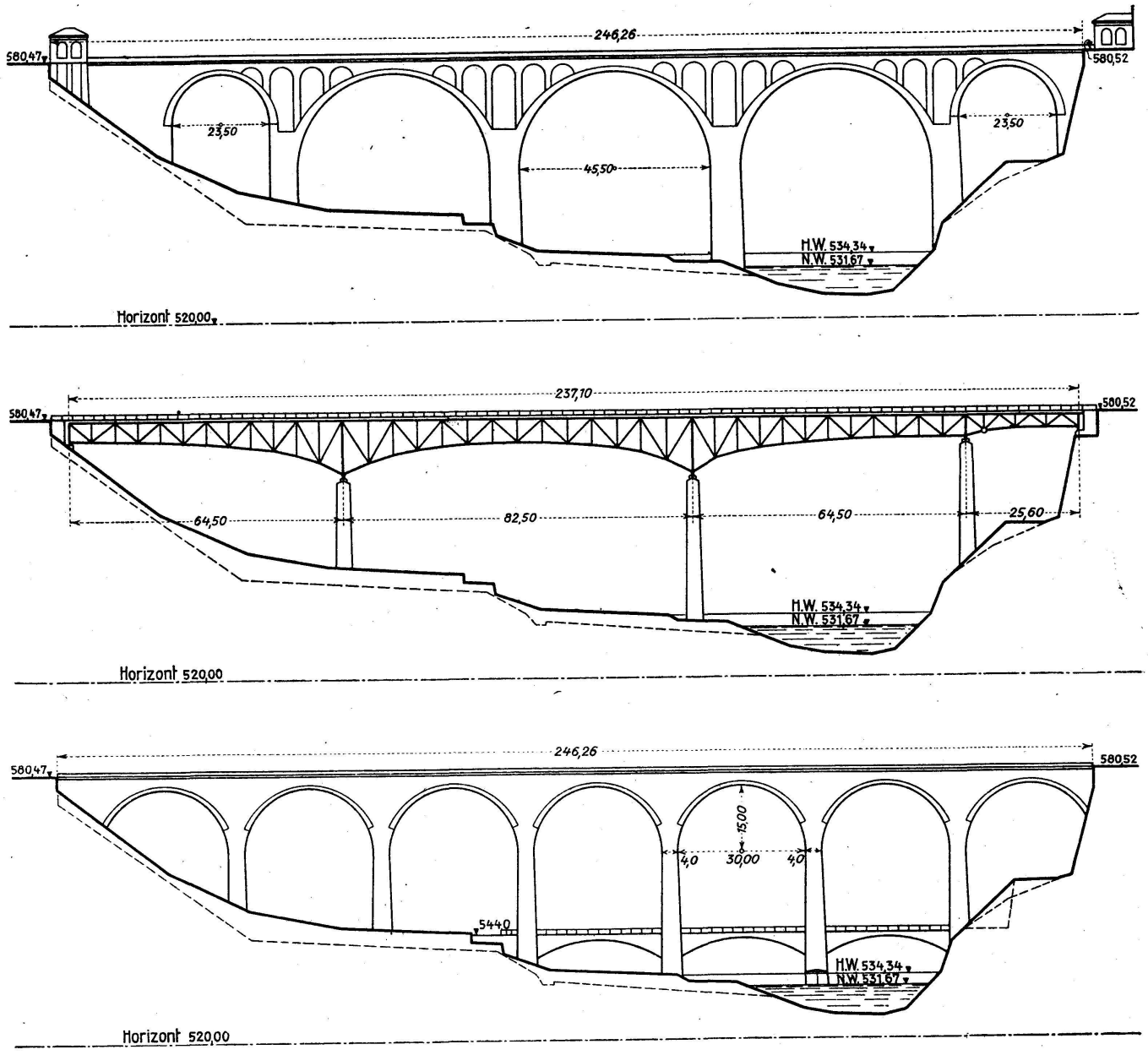
Le gouvernement chargea une Commission d'experts de donner un préavis sur les projets issus du concours. Cette Commission proposa d'abandonner le type suspendu, car son adaptation n'aurait pu être qu'une réédition alourdie de l'ancien pont dont la portée était du reste injustifiée, ainsi que je l'ai déjà dit.

Les experts estimèrent que le nouveau pont devrait s'adapter fort modestement à la silhouette de la vallée et de la ville et éviter de chercher à dominer le paysage en quoi que ce soit.

La Commission donna la préférence à un pont massif du type viaduc (dernier croquis au bas de la planche 12). L'essentiel dans le cas particulier n'est pas la rivière, c'est la vallée. Une seule grande ouverture sur la Sarine, liée au versant gauche de la vallée,

Fig 12. Pont de Zähringen. Quelques projets-types présentés lors du concours




246,26
580,47
580,52
23,50
45,50
23,50
H.W. 534,34
N.W. 531,67
Horizont 520,00
237,10
580,47
580,52
64,50
82,50
64,50
25,60
H.W. 534,34
N.W. 531,67
Horizont 520,00
246,26
580,47
580,52
15,00
4,0
30,00
4,0
544,0
H.W. 534,34
N.W. 531,67
Horizont 520,00

aurait donné une solution boiteuse; le fleuve brisant la symétrie de la vallée, l'ouvrage doit être adapté à la vallée afin de donner au pont une ligne continue. Le viaduc simple sans motif technique dominant pouvant rompre cette ligne donne la solution rationnelle.

Au point de vue technique la grande ouverture enjambant la Sarine aurait été préférable; une régularisation de la rivière permet toutefois d'obvier aux inconvénients de la pile en rivière.

La Commission préconisa un viaduc à sept arches égales et élancées de 30 m d'ouverture environ, barrant le moins possible la vallée. Le pont neuf a été construit dans le même plan vertical que l'ancien, la largeur de la chaussée fut fixée à 7,5 m, celle des trottoirs à 2,0 m chacun.

M. l'ingénieur cantonal Lehmann proposa d'ajouter le pont inférieur qui lie les quartiers de la Basse Ville et qui put être construit à bon compte en utilisant les piles du viaduc. Ce sous-pont très étroit (largeur: un tiers de celle des piles) ne nuit en rien à l'aspect du tablier supérieur.

La disposition générale des travaux est représentée par la fig. 13; tous les cintres sont placés, nous distinguons aussi ceux des trois voûtes très surbaissées du pont inférieur. Les voûtes principales à droite sont terminées, on bétonne les tympans; à gauche les voussoirs des voûtes principales (blocs de béton de 3 à 5 m de longueur) sont terminés, les joints entre ces voussoirs seront bétonés trois à quatre semaines plus tard. Ce mode d'exécution des voûtes évite leur fissuration par suite du tassement des cintres sous le poids des voûtes ainsi que par suite du retrait du ciment.

Le pont terminé est représenté par la fig. 14, nous comparons cette perspective à celle donnée pour le grand pont suspendu à la fig. 10. Ces deux vues montrent que malgré le contraste considérable existant entre l'ancien et le nouveau pont, chacun solutionnait le problème de façon admissible, d'après les nécessités de son temps. Le pont suspendu ne cadrait pas avec le site, il y disparaissait; s'il avait été suffisamment rigide il aurait barré la vallée. Le pont neuf cadre avec les falaises et la ville, il est du crû. Somme toute il valait mieux faire quelque chose de tout différent; du moins le peuple fribourgeois semble s'être vite habitué au nouveau pont.

Les surfaces vues du pont ont été bouchardées à grain très

Fig. 13. Pont de Zähringen, travaux en cours (cintres)

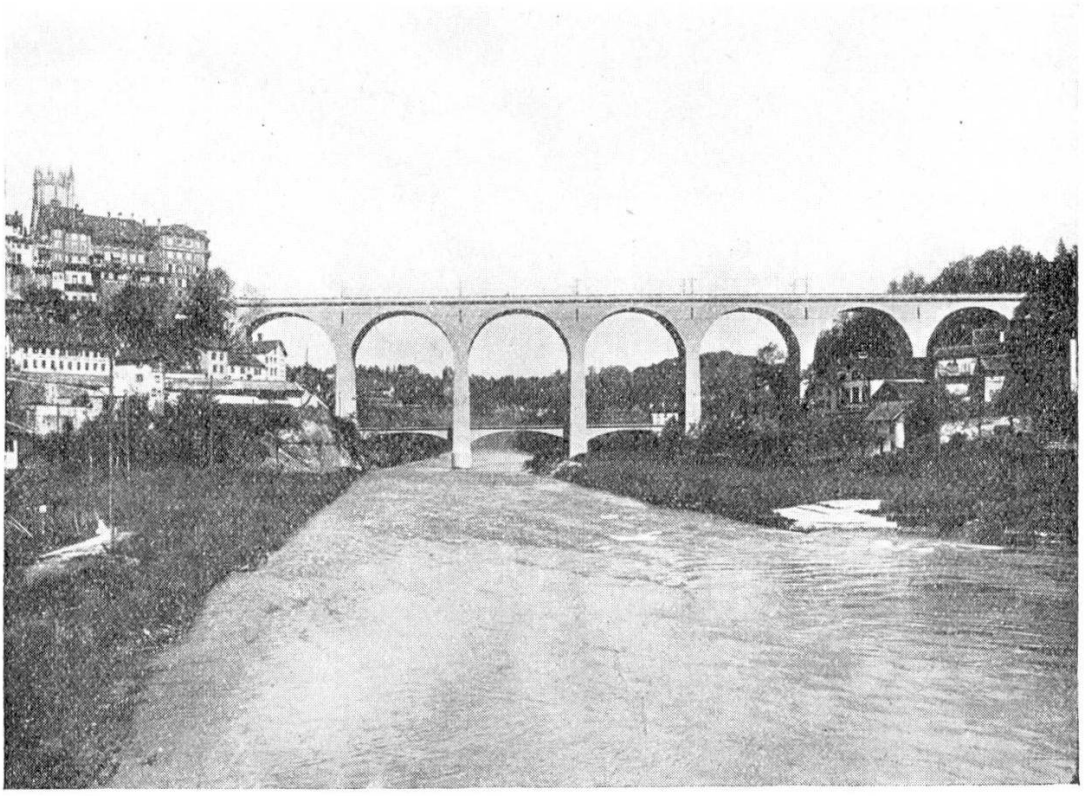


Fig 14. Pont de Zähringen, vue amont

grossier; on a ajouté au béton des parements des matériaux dont la teinte rappelle celle de la molasse.

Ce pont (20,000 m³ de béton) a été exécuté également par l'Entreprise Züblin & Co., la direction des travaux étant exercée par MM. Jæger & Lusser, ingénieurs, qui ont établi le projet préconisé par la Commission.

* * *

Le *viaduc de Grandfey* sur la ligne Berne-Fribourg des C. F. F. fut construit de 1857 à 1862, il a 380 m de longueur et 80 m de hauteur, sept ouvertures, soit deux de 43 et cinq de 49 m environ. Sous la voie ferrée est placée une passerelle publique de 1,6 m de largeur.

La partie inférieure des piles de 32 m de hauteur au plus est en maçonnerie, sur ces socles sont posées des tours à treillis dont les montants sont en fonte.

Les piles et le tablier métallique furent construits par les Ateliers du Creusot; le tablier continu fut lancé en partant de l'une des culées, les piles métalliques étant construites à l'aide du porte-à-faux du tablier. Ce fut en son temps un procédé de montage très admiré.

Le viaduc a été construit à double voie avec quatre poutres principales, il fut calculé pour une surcharge mobile de 4 t par mètre de voie. Aujourd'hui les C. F. F. tiennent compte d'une surcharge de 11 t/m. Malgré l'augmentation des charges roulantes le tablier a pu être maintenu jusqu'ici en utilisant le pont à voie simple seulement et en répartissant la charge à valeur égale sur les quatre poutres principales.

Le projet de renforcement du pont dont l'exécution va se terminer l'an prochain a été étudié par M. Bühler, ingénieur, chef du bureau des ponts à la direction générale des C. F. F. L'Entreprise est entre les mains de MM. Simonett & Cie., Gremaud et Tacchini, aidés par M. Maillart, ingénieur.

Le projet mis en œuvre a transformé le pont métallique, sans modifier la disposition des piles, en un viaduc en béton armé dont les voûtes principales, ayant dû être exécutées sous les poutres métalliques, supportent un viaduc secondaire de hauteur correspondant à celle des anciennes travées métalliques et donnent passage

à la passerelle publique. La fig. 15 donne le schéma de la reconstruction, nous y voyons l'ancien viaduc métallique et le pont en béton armé qui lui est superposé.

Les tours métalliques ont d'abord été enrobées dans du béton, à l'aide d'un coffrage mobile, jusqu'aux naissances des voûtes. Entre ces piles on a construit des voûtes en béton armé de même ouverture que celle des anciennes travées métalliques. L'ossature

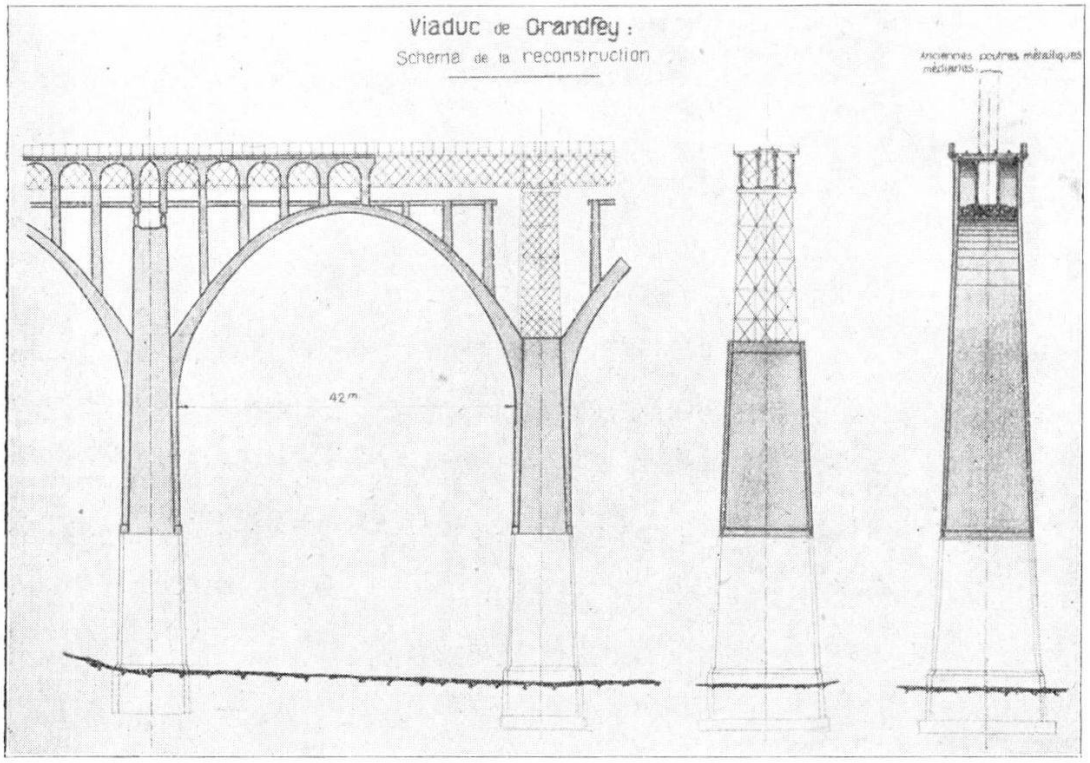


Fig. 15

métallique rigide des voûtes (système Mélan) constitue à la fois le cintre pour le bétonnage de la voûte et l'armature. Cette ossature travaille ainsi doublement et est mieux utilisée qu'une simple armature, car elle forme d'abord pont pour le poids propre de la voûte. Le coffrage est suspendu à cette ossature et ne nécessite aucun autre support.

Le mode de reconstruction a été rendu particulièrement intéressant et difficile par suite du remplacement successif des quatre poutres du tablier métallique par les deux séries d'arcades du viaduc secondaire posé sur les grandes voûtes (voir fig. 15). Ces deux séries d'arcades laissent entre elles l'espace occupé d'abord

par les deux poutres métalliques médianes, puis plus tard par la passerelle.

Après la construction des grandes voûtes de 7,6 m de largeur on a exécuté d'abord les piliers du viaduc secondaire jusqu'au dessous des travées métalliques et posé le plancher de la passerelle. Les poutres métalliques purent être alors appuyées sur ces piliers, après quoi l'on démolit la poutre métallique extérieure amont, ce qui donna la place pour la construction de la première série d'arcades. On procéda de même façon en aval. Les deux séries d'arcades étant terminées on y posera un tablier provisoire sous lequel on démontera les deux poutres métalliques médianes et construira la dalle du plancher de la voie ferrée fermant l'espace entre les deux séries d'arcades.

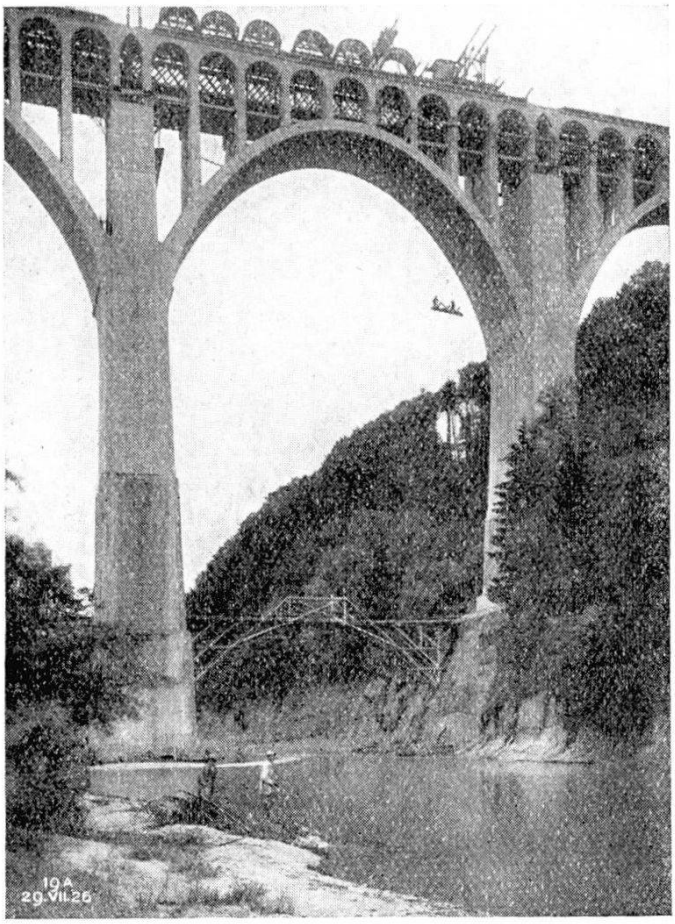


Fig. 16. Viaduc de Grandfey, travaux en cours

La fig. 16 représente la vue amont des voûtes sur la Sarine, toutes les voûtes sont terminées, de même les arcades amont du viaduc secondaire, on enlève leurs cintres; les poutres métalliques médianes supportent la voie tandis que l'on démonte la travée métallique aval.

La pression du sol des fondations atteindra le chiffre élevé de 14 kg/cm^2; c'est la première fois que les C. F. F. exécutent un pont en béton armé de grandes dimensions aussi léger; ce pont léger a été imposé, en tant qu'il s'agissait de construire un pont en béton par la nécessité de ménager la fatigue du sol.

Le coût total des travaux de reconstruction qui nécessitent une attention continue de la part de l'entreprise et des organes

des C. F. F., est estimé à 3,25 millions. 26,500 m³ de sable et gravier ont été dragués à l'aval du pont dans la Sarine, 3500 m³ de sable proviennent de Pérolles. Le matériel grossier du lit de la Sarine doit être trié et concassé. Les bétonnières sont disposées sur le pont de service au pied des quatre piles médianes (voir fig. 16), d'où des ascenseurs amènent le béton à hauteur du tablier, de là il est distribué par des tubes métalliques.

Les trois grands ponts construits ces dernières années à Fribourg ont été exécutés dans des délais remarquablement courts et toujours bien tenus.

* * *

Mesdames, Messieurs,

J'espère que l'aperçu que je vous ai donné des ponts de Fribourg n'a été ni trop élémentaire, ni trop spécialisé. Il vous aura toutefois certainement montré l'effort considérable et admirable que le canton de Fribourg, malgré son caractère essentiellement agricole, a fait dès l'après-guerre pour mieux lier son chef-lieu aux parties du canton de langues diverses dont les gorges de la Sarine le séparent; cette liaison bien résistante ne manquera certes pas de porter ses fruits au delà des frontières cantonales, nous espérons que ces fruits mûriront et qu'ils seront utiles à l'essor de la ville et du canton de Fribourg.

Über Naturkräfte

Von J. Reinke (Kiel)

Herr Präsident!
Meine Damen und Herren!

Dass die hochberühmte Schweizerische Naturforschende Gesellschaft mich aufforderte, auf ihrer 107. Jahresversammlung zu sprechen, um Gedanken entwickeln zu dürfen, die im Laufe eines langen Lebens gereift sind, habe ich dankbar als hohe Auszeichnung empfunden. Gern kam ich daher vom Strande der Ostsee in Ihre schöne Alpenstadt, um hier, im hehren Tempel der Wissenschaft von der Natur, mit Ihnen geistige Bergluft zu atmen.

* * *

Würde an meiner Stelle ein Anthropologe sprechen, so hätte er nicht nötig, seinen Vortrag mit einer Definition zu beginnen: Der Begriff Mensch steht anschaulich vor uns; es gibt keine Meinungsverschiedenheit über seinen Umfang.. Stehen aber die Naturkräfte zur Erörterung, so besteht weitgehende Uneinigkeit sowohl über den Begriff der Natur wie besonders über den der Kraft. — Weil die Philosophen als Meister der Definition gelten, wollen wir wegen des Begriffs der Natur zunächst einmal einen Philosophen hören.

Immanuel Kant gab fünf Jahre nach dem Erscheinen der Kritik der reinen Vernunft ein Buch heraus, das den Titel führt: „Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“ (1786), und das für den Naturforscher von besonderem Interesse ist. In der Vorrede dieses Buches definiert Kant: „Die Natur (gilt) als der Inbegriff aller Dinge, sofern sie Gegenstände unserer Sinne, mithin auch der Erfahrung, sein können, worunter also das Ganze aller Erscheinungen, das ist die Sinnenwelt, mit Ausschliessung aller nicht sinnlichen Objekte, verstanden wird.“ Was Kant unter Sinnenwelt versteht, erläutert er dann mit folgenden Worten: „Die Natur, in dieser Bedeutung des Worts genommen, hat nun, nach der Hauptverschiedenheit unserer Sinne, zwei Hauptteile, deren der eine die Gegenstände äusserer, der andere den Gegenstand

des inneren Sinnes enthält; mithin ist von ihr eine zwiefache Naturlehre, die Körperlehre und Seelenlehre möglich, wovon die erste die ausgedehnte, die zweite die denkende Natur in Erwägung zieht.“ Indem ich mich dieser Definition der Natur durch Kant anschliesse, trete ich dadurch in Gegensatz zu zahlreichen neueren Philosophen, denen die Natur nur als die Gesamtheit der materiellen Gegenstände gilt.

Gewiss bilden Luftarten, Gewässer, Kristalle, Gesteine, Gestirne, Pflanzen und Tiere den ersten Hauptteil der Natur; der Leib der Tiere gehört schon darum hierher, weil er nicht nur aus den Grundstoffen der anorganischen Natur besteht, sondern auch sofern die in ihm ablaufenden Vorgänge physikalischen und chemischen Gesetzen folgen. Von den Anorganismen unterscheiden sich die Organismen aber durch das Leben, und dies Leben setzt sich wenigstens bei den Grosshirntieren und dem Menschen zusammen aus leiblichem Leben und aus Seelenleben; leibliches und seelisches Leben sind zwei Seiten des Lebensprozesses. Uns Menschen ist vom eigenen Leben die Seele das allergewisseste; seelische Erlebnisse sind der Ausgangspunkt aller Erfahrung. Jedes Pferd, jeder Hund, jede Katze gehört also mit Leib und Seele zur Natur in ihrem weitesten Sinne, und ein gleiches gilt vom Menschen. Der tierische Leib ist ein materielles System von spezifischer Konfiguration und spezifischer Bewegung. Die Seele aber, wenn wir unter diesem Worte Verstand, Wille, Gefühl, Vorstellungsvermögen usw. verstehen, ist etwas ganz anderes! Trotzdem gehört auch die Seele zur Natur, denn Leib und Seele stehen in engster Verbindung mit einander. Immerhin bleibt für uns unbegreiflich, wie die Seele in den Wirkungskreis der Atome und der Moleküle einzugreifen vermag. Dass tatsächlich solcher Eingriff unausgesetzt geschieht, wird schon dadurch bewiesen, dass ich zu Ihnen spreche.

Umgekehrt wirkt auch die materielle Welt auf die Seele zurück. Zweifellos ist die Seele, obgleich sie weder räumlich noch materiell gedacht werden kann, funktional abhängig von einem räumlich-materiellen Bezugssystem, dem Gehirn. Auch dies spricht für die Zugehörigkeit der Seele zur Natur. Während im Gehirn sich zunächst molekulare, bzw. elektrodynamische Vorgänge abspielen, sind seelische Vorgänge mit ihnen auf das engste verknüpft. Damit treten seelische Regungen bei Tier und Mensch in den Naturlauf ein, und dieser Zusammenhang bildet ein biologisches Problem.

Diese Auffassung findet eine Stütze in den Vorgängen der Zeugung und der embryonalen Entwicklung. In der Zeugung entsteht und vererbt sich nicht nur der Leib einer Katze, eines Hundes und eines Menschen, sondern es vererben sich auch deren Seelen; es entwickeln sich diese drei so verschiedenen Seelen mit dem zugehörigen Leibe aus der in den väterlichen und den mütterlichen Keimzellen verankerten Mitgift. Weil bereits in einer Keimzelle die Anlage zu Leib und Seele der betreffenden Art gegeben ist, muss dem materiellen System ihres Protoplasmas ein seelischer Erbfaktor zugeordnet sein. Schon Spermie und Ei bilden für sich eine Ganzheit; das befruchtete Ei ist eine zweite Ganzheit; das daraus sich entwickelnde geschlechtsreife und seelisch vollendete Tier eine dritte Ganzheit. Spermie und Ei verknüpfen nicht nur das leibliche, sondern auch das seelische Leben eines Tiers mit dem seiner Eltern.

Somit findet die Seele eines Tiers ihr materielles Bezugssystem nicht lediglich im Gehirn des fertigen Leibes, sondern schon in der Spermie des Vaters, in der Eizelle der Mutter. Spermie und Ei sind darum nicht nur lebendige, sondern auch potentiell beseelte Wesen. Dabei unterliegt die Spermie bei ihrer Bildung einem Einflusse, der von der gesamten leiblichen und seelischen Eigenart des Männchens ausgeht; entsprechend steht es mit der Eizelle des weiblichen Körpers. Das ist die Vererbung. Wollte man ein Bild gebrauchen, so könnte man sagen: Spermie und Ei sind materielle Systeme mit seelischer Ladung. Hält man an diesem Bilde fest in Analogie zur elektrischen Ladung, so wären die Keimzellen geladen nicht nur mit den künftigen leiblichen, sondern auch mit den seelischen Eigenschaften der Eltern. Die Keimzellen bergen somit nicht nur ein Potential leiblicher Gestaltung, sondern auch ein Potential seelischer Auswirkungen. Dies Bildungspotential,[1] wie ich es genannt habe, gehört nicht weniger zur Natur als ein ausgewachsener Hund oder eine Katze; man darf so gut von seelischen wie von leiblichen Erbfaktoren sprechen, die dies Potential ausmachen. Das sich entwickelnde neue Tier ist durch dies Potential bzw. durch jene Erbfaktoren determiniert; in seiner Entwicklung zeigt sich eine Art von Potentialgefälle. —

Dem weiten Rahmen, der somit die Natur umspannt, hat der

[1] Vgl. J. Reinke, Einleitung in die theoretische Biologie, II. Aufl. (Berlin, Paetel 1911) S. 381

Begriff der Kraft sich anzupassen. Am zweckmässigsten ist wohl, im Anschluss an den Philosophen Johannes Rehmke die Kraft zu definieren als alles Wirkende und Wirkungsfähige in der Natur. Man könnte auch sagen: Alles, was den in einem Zeitpunkt gegebenen Zustand der Natur verändert, nennt man Kraft. Wenn wir auf die einzelnen Naturgebiete eingehen, so wollen wir neben das anorganische Gebiet als Vertreter des Lebendigen hauptsächlich den Menschen stellen mit Leib und Seele, welch letztere sich im menschlichen Geiste mehr als turmhoch erhebt über Seele und Verstand der Tiere.

Das Wort „Kraft" geht wohl unstreitig auf unser Muskelgefühl zurück. Wenn die Wissenschaft aber von Muskelkraft spricht und sie in der Pferdekraft gar als Masseinheit verwendet, kann dabei von allen biologischen Beziehungen abgesehen werden, so dass diese Kraft zu einem Gegebenen wird wie die Schwerkraft, deren Wirkungen wir wohl kennen, deren Ursprung uns aber verborgen bleibt. Doch es wird nötig sein, Einzelbeispiele von Kräften zu berücksichtigen.

Nach der Definition von Maxwell [1] bedeutet Kraft ein Agens, das die Bewegung oder die Konfiguration eines materiellen Systems zu ändern vermag. Diese Definition dürfte auch heute noch passen für die mechanischen oder materiellen Kräfte. Ihnen stehen gegenüber die seelischen Kräfte, wie Urteilskraft, Willenskraft, Einbildungskraft, Denkvermögen, die einer anderen Ebene des Naturgeschehens angehören als die materiellen Kräfte, und die darum erst später betrachtet werden sollen.

Das weite Reich der materiellen Kräfte ist verschiedener Einteilung zugänglich. So zeigen sich beschleunigende Kräfte in den Bewegungen der Körper, während die Explosionsfähigkeit des Dynamits eine ruhende Kraft bedeutet. Druck und Zug sind Grundformen von Kräften; in ihrer Wirkung ergibt sich ein Umsatz von Kraft. Auch der Impuls oder die Bewegungsgrösse weist auf eine Kraft zurück. Der Naturlauf erschöpft sich für uns nicht in einem System von Bewegungen oder Zustandsänderungen; sondern unser Kausalsinn sucht nach dem Agens, das die Bewegungen veranlasst oder verändert, Spannungen hervorruft oder auslöst. Damit wird Begriff und Wort „Kraft" zum Symbol für ein Etwas, das den

[1] Vgl. Maxwell, Matter and motion.

gesamten Naturlauf beherrscht. Wenn Materie wirkt, geht jenes Etwas von ihr aus, das wir Kraft nennen, und das andere materielle Systeme, z. B. auch unsere Sinneswerkzeuge, zu beeinflussen vermag. Die Naturvorgänge äussern sich als Entfesselung oder Hemmung von Bewegungen. Auch wenn wir der heutigen Entmechanisierung der Physik folgen, bleibt der Kraftbegriff, z. B. beim Vergleich der mechanischen mit elektromagnetischen Schwingungen, der „Vergleichspunkt".

Hermann Weyl sagt: „Die Kraft ist der Ausdruck für eine selbständige, die Körper ..... verknüpfende Potenz, welche die zeitliche Änderung des Impulses verursacht".[1] — Ein Naturgeschehen tritt uns entgegen, sobald die es bedingenden Kräfte in Tätigkeit treten. Kraftübertragung aber findet statt durch Ausbreitung von Impuls und von Energie in einem Wirkungsfelde.

Auf zwei Arten von Kraft sei hier noch eingegangen: Es sind die Energie und die Systemkräfte.

Energie ist die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu leisten, und als Wirkungsvermögen ist sie dem Kraftbegriff unterzuordnen; zugleich bedeutet Energie die numerische Invariante im Naturlauf, weil sie unzerstörbar ist. Der Begriff der Systemkräfte ist der Physik fremdartig. Ich habe ihn wohl zuerst in der Biologie eingeführt;[2] doch er ist physikalisch begründet. In der physikalischen Technik ist von Maschinenbedingungen die Rede, die man auch Systembedingungen nennen kann; sofern von diesen Systembedingungen Wirkungen ausgehen, kann man diese als Systemkräfte bezeichnen. Wie die Energie, sind auch die Systemkräfte materielle Kräfte; sie sind aber nichtenergetisch, denn sie sind zerstörbar. Dies hat seinen Grund darin, dass für sie nicht eine Quantität, sondern die Form, also eine Qualität, massgebend ist. Eine Form ist, wie alle Qualitäten, zerstörbar ohne zurückbleibendes Äquivalent. Wenn die Systembedingungen als Transformatoren von Energie wirken, sind sie darum nicht selbst Energie; eine Form kann keine mechanische Arbeit leisten. Ein paar Beispiele mögen diesen Gedankengang erläutern. Eine Taschenuhr und eine Spieldose können beim Aufziehen durch das gleiche Quantum von Betriebsenergie in Bewegung versetzt werden; dennoch ist der Effekt

[1] H. Weyl, Was ist Materie? (Berlin, Springer, 1924) S. 28.

[2] J. Reinke, Einleitung in die theoretische Biologie, II. Aufl. (1911) Seite 184 ff.

ein ganz verschiedener. Und so sehr beide Mechanismen in ihren Rädern, Triebwerken, dem Material einander ähneln mögen, ist es doch eine Verschiedenheit des Gefüges, d. h. an Form, durch welche die verschiedenartige Leistung bedingt wird. Daher kann man statt „Systemkräfte“ auch „Formkräfte“ sagen. An diesem Einfluss der Form wird dadurch nichts geändert, dass die Systemkräfte sich mit energetischen Mitteln durchsetzen, d. h. durch die molekulare Energie des Materials, seine Festigkeit und Elastizität; denn die entscheidende Wirkung geht von der Form aus. Dies lässt sich dadurch beweisen, dass ein Hammerschlag sowohl die Uhr wie die Spieldose als solche für immer vernichten kann, obgleich der Energiegehalt des Materials dabei ungeändert bleibt. Weil solche Formkräfte als materielle Systeme in Wirksamkeit treten, sind sie den materiellen Kräften beizuzählen, obgleich sie nichtenergetischer Natur sind. Ein zweites Beispiel. Eine Konvexlinse kann Lichtstrahlen zu einem Bilde sammeln, eine Konkavlinse kann es nicht: die Form der Linse ist massgebend für die Wirkung. Auch die Konvexlinse können wir durch einen Hammerschlag vernichten, ohne dass die Elastizität der Glassplitter dadurch eine Minderung erführe. Weil es sich um Wirksamkeiten handelt, rechne ich den Einfluss von Systembedingungen zu den Kräften.

Die Kraft als solche ist ein nicht wahrnehmbares Gedankending; nur aus ihrem Wirken kann sie erschlossen werden. Ihre Annahme wird aber nach meiner Auffassung denknotwendig bei jeder wahrgenommenen Veränderung materieller Systeme und Vorgänge. Nun wird allerdings von angesehener physikalischer wie philosophischer Seite der Versuch gemacht, bei Beschreibung des Naturbildes ohne den Kraftbegriff auszukommen. Dieser Versuch steigert sich bis zu einer mehr oder weniger lebhaften Polemik gegen das Wort „Kraft“. Mir scheint es sich hier wesentlich um eine Frage der Zweckmässigkeit zu handeln. Wie der Menschenbegriff steht der Kraftbegriff „über dem Beweise“; doch schon aus Ehrerbietung vor der Sprache sollte man das Wort „Kraft“ stehen lassen. Wie könnte man z. B. das Wort „Molekularkräfte“ durch einen zweckmässigeren Ausdruck ersetzen? Ich glaube, gegenüber der heutigen Ablehnung des Kraftbegriffs würden nicht nur Faraday, Maxwell und Helmholtz, sondern auch Galilei und Newton erstaunte Gesichter machen.

Eine Anfechtung des Kraftbegriffs erfolgt u. a. durch den Vorwurf, dass er anthropomorph sei. Dem begegne ich mit der Frage: können wir Menschen überhaupt anders als anthropomorph vorstellen und denken? Und ist nicht z. B. der Begriff des Naturgesetzes genau ebenso anthropomorph, da er zweifellos dem bürgerlichen Gesetzesbegriff nachgebildet wurde? Anscheinend um solchen Anthropomorphismus zu vermeiden, bei dem an den biologischen Ursprung der Muskelkraft gedacht wurde, wird in der neueren Physik das Wort Kraft vielfach ersetzt durch die Worte Potential und Potentialgefälle. Dabei scheint mir übersehen zu werden, dass „Potential“ nur ein Fremdwort ist für Macht, und Macht geht doch auf den Menschen zurück. Helmholtz definierte Kraft als eine Macht, durch die der gesetzliche Ablauf der Naturvorgänge sich geltend macht. So ist denn Potential nicht weniger ein dynamischer Begriff, als Kraft, und man möge jenes Wort gebrauchen, wo es zweckmässig scheint; man braucht darum nicht auf das an anderer Stelle zweckmässigere Wort Kraft zu verzichten. Habe ich doch selbst eine Annäherung an den physikalischen Potentialbegriff gesucht durch Aufstellung des Begriffs Bildungspotential, womit ich die unsichtbaren Anlagen aller Art in den Keimzellen dynamisch zu umschreiben suchte.

Während hier im Grunde nur eine Meinungsverschiedenheit der Nomenklatur bestehen dürfte, zumal man die Worte Kraft und Potential nebeneinander gebrauchen kann, verdient grössere Beachtung der Versuch, die materiellen Vorgänge überhaupt nicht dynamisch, sondern rein kinematisch zu begreifen; dadurch soll der Kraftbegriff überflüssig werden. Man weist darauf hin, dass Galilei fragte: wie fällt der Stein? doch nicht: wodurch fällt er? Damit gewann Galilei seine Formel für das Fallgesetz. Gewiss ist eine kinematische Beschreibung der Naturvorgänge neben der dynamischen möglich; doch wird man auch die Frage, wodurch der Stein fällt, nicht verbieten können. Die letzten Probleme der Bewegung werden aber durch die Kinematik nicht gelöst; darum folgt auch in Kant's „Anfangsgründen“ auf den kinematischen Teil, den er Phoronomie nennt, ein dynamischer Teil des Buches.

Auf der Linie, längs der sich eine beschleunigte Bewegung vollzieht, ist wohl das Raumzeitelement B von dem vorausgegangenen Raumzeitelement A funktional abhängig; doch das ist im Grunde nur eine logische Abhängigkeit. Zugleich können wir uns vor-

stellen, dass vom Element A ein reales Etwas auf das Element B einwirkt, das wir Kraft nennen. So haben wir den kinematischen und den dynamischen Begriff der Bewegung nebeneinander; von den Raumzeitelementen können wir Wirkungselemente unterscheiden. Der volle Kausalzusammenhang der Dinge untereinander, auch ihrer Bewegungen und Spannungen, ergibt sich erst aus der dynamischen Betrachtung. Indem Galilei sein Augenmerk auf Quantitätsbeziehungen und auf Messung der Bewegungen richtete, stellte gerade er die konstante Beziehung zwischen Kraft und Beschleunigung fest. An ihr vermochte er die Kraft zu messen, wenn auch deren metaphysisches Wesen ihm so unbekannt blieb, wie es uns ist. Im Fallgesetz kam es ihm zunächst auf Klärung der Tatsachen, später erst auf deren Ursachen an. Das Parallelogramm der Kräfte verdankt aber Galilei seine Konstruktion.

Newton hat Keplers und Galileis Sondergesetze zu einem Grundgesetz der Bewegung zusammengezogen, in welchem der Faktor der Kraft nicht vorzukommen braucht. Dieser trat aber als etwas Neues, als Schwerkraft, hinzu in dem Augenblick, wo Newton die Anziehung der Massen dynamisch zu begreifen suchte; nunmehr ward ihm die Gravitation zum wirkenden Agens. Man kann diese wie jede Kraft eine Hypothese nennen; doch hat gerade Newton sich dagegen verwahrt, Hypothesen zu erfinden, wenn er aus den Bewegungen der schweren Körper eine Beschleunigung durch Massenanziehung erschloss und deren Gesetz feststellte.

Im Hinblick auf Galilei und Newton wurde der Begriff des Naturgesetzes gestreift, der zu dem der Kraft in einem reziproken Verhältnisse steht. Durch den apriorischen Begriff des Gesetzes ordnet der menschliche Verstand seine Wahrnehmungen in der Natur und vermag sie zu verallgemeinern. Die gesetzliche Verknüpfung beobachteter Tatsachen ist eine Sache des Denkens. Der menschliche Verstand entdeckt die Gesetze in den Ereignissen der Umwelt und freut sich der Übereinstimmung mit seiner eigenen Beschaffenheit, da er selbst gesetzlich zu denken gezwungen ist. Weil alle Naturvorgänge nur unter der Voraussetzung einer Geltung des Kausalgesetzes verstanden werden können, wurde der Versuch gemacht, in der Erkenntnis und der Erklärung des Naturlaufs mit dem Gesetzesbegriff unter Ausschaltung des Kraftbegriffs auszukommen. Es fragt sich, ob solche Sparsamkeit zweckmässig ist. Verwunderlich aber klingt es, wenn man hört, dass der im

Kraftbegriff steckende Anthropomorphismus durch das Naturgesetz vermieden werde, also durch einen Begriff, der erst aus den bürgerlichen Verhältnissen der Menschen in die Naturwissenschaft übertragen wurde.

Nach der gewöhnlichen Auffassung soll das Naturgesetz einen unverbrüchlichen Zusammenhang zwischen Veränderungen im Naturlauf beschreiben; durch einen Zustand A soll ein Zustand B unbedingt gegeben sein. Da ist es für den Biologen interessant, dass, während in der Biologie von jeher unterschieden wurde zwischen Gesetzen, die ausnahmslos gelten, und Regeln, die, wenn auch nur in seltenen Fällen, eine Ausnahme zulassen: neuerdings seitens der Physiker eine analoge Unterscheidung getroffen wurde zwischen absoluten oder „dynamischen“ Gesetzen einerseits und statistischen Gesetzen anderseits, welch' letztere nur relative Geltung besitzen, also Ausnahmen zulassende Regeln sind. Zunächst wurde bei dieser Unterscheidung angenommen, dass die umkehrbaren Vorgänge in der Natur einer absoluten Gesetzlichkeit unterstehen, während für die nicht umkehrbaren Vorgänge statistische Gesetzlichkeit Geltung habe. Man erkannte zugleich als Aufgabe, die Fälle statistischer Gesetzlichkeit auf solche absoluter Gesetzlichkeit zurückzuführen. In neuster Zeit ist bei Physikern sogar die Hypothese aufgetaucht, dass es in der Natur überhaupt nur statistische Gesetzmässigkeit gebe; sogar das Gravitationsgesetz und das Kausalgesetz sollen lediglich statistische Geltung haben. Hierzu sei beiläufig bemerkt, dass schon Kant in der Vorrede der „Anfangsgründe“ erklärt: Wenn die Gesetze, aus denen die gegebenen Fakta durch die Vernunft erklärt werden, bloss Erfahrungsgesetze sind, so sind sie nicht apodiktisch gewiss.

Ich möchte zu diesem Gegenstande zwei Beispiele aus der Biologie anführen. Das Gesetz: Alle Menschen müssen sterben, wird wohl jedermann als ein solches von absoluter Gültigkeit anerkennen. Über ein anderes Gesetz, welches lautet: Omne vivum ex vivo, d. h. jedes Lebewesen ist von einem andern geboren worden, kann Meinungsverschiedenheit bestehen. Lässt man nur die Tatsachen reden, so ist auch dieses Gesetz ein absolutes. Glaubt man indes an die Möglichkeit einer, der Erfahrung sich allerdings hartnäckig entziehenden, aber doch gelegentlich vorgekommenen Generatio spontanea, einer Entstehung von Organismen aus einem leblosen, anorganischen Stoffgemenge, so würde

dies Gesetz dadurch zu einem statistischen, zu einer blossen Regel.

Nach dieser Abschweifung wenden wir uns dem Verhältnis zwischen Gesetz und Kraft zu. Kein geringerer als Helmholtz ist immer wieder für die Wechselbeziehung beider Begriffe eingetreten. Die Kräfte sollen ursächlich wirken nach unveränderlichen Gesetzen; mit Hilfe des Kraftbegriffs lasse sich die ganze theoretische Physik aufbauen. „Häufig kommt der Fall vor", sagt er wörtlich, „dass wir die Anwesenheit einer Kraft anzunehmen Grund haben, ohne dass wir ihre Wirkung als Beschleunigung auftreten sehen."[1] An anderer Stelle sagt Helmholtz: „Indem wir das Gesetz als ein unsre Wahrnehmung Zwingendes, als Macht anerkennen, nennen wir es Kraft."[2] Nach dieser Auffassung werden Gesetze nur wirksam durch Kräfte, die ihre Geltung erzwingen; anderseits wirken Kräfte nur gesetzmässig. Also kein Gesetz ohne Kraft — keine Kraft ohne Gesetz! Ich möchte hinzufügen, dass mir z. B. Ohms Gesetz und das Gesetz der kleinsten Wirkung, das vielen als das umfassendste aller Naturgesetze gilt, nicht anwendbar zu sein scheinen ohne den Kraftbegriff, wie ich ihn verstehe. Darum ist nach meiner Meinung eine Überspannung des Gesetzesbegriffs in der Weise, dass dadurch der Kraftbegriff ausgeschaltet wird, dem Gedankenbau der Wissenschaft abträglich. Auch bei der radikalsten Auslegung des Gesetzesbegriffs, ich meine, wenn alle Naturgesetze nur statistische, nur relative Gültigkeit haben sollten, bleibt die Kraft als ein Absolutes in den wechselvollen Erscheinungen des Naturlaufs bestehen. Unter allen Umständen ist nach meiner Ansicht auf dem Gebiet der Materie am Kraftbegriff festzuhalten als einem zweckmässigen Mittel zur naturgetreuen Beschreibung des Geschehens.

Tun wir noch einen kurzen Ausblick auf die Materie! Die Materie erfüllt den Raum und ist einer Ortsänderung im Raume fähig. Für unsere Anschauung ist die Materie scheinbar der gewisseste Teil der Natur, weil man sie sehen und tasten kann. Nach heutiger Auffassung besteht die Materie aus positiver und negativer Elektrizität, und Elektronen nebst Protonen sind für die Physik auf materiellem Gebiet ein letztes Gegebenes, wenn wir die

---

[1] Helmholtz, Mechanik I. S. 24 ff.
[2] Helmholtz, Physiologische Optik, II. Aufl. S. 579.

Ätherhypothese einmal auf sich beruhen lassen. Weil aber positive und negative Elektrizität auch Grundkräfte der Natur sind, wird damit das Problem der Materie ein dynamisches. — Schon eine ältere Betrachtung führte zur dynamischen Deutung der Materie. Von jeher war man darüber einig: Wir können von der Materie nur etwas wissen durch die von ihr ausgehenden Kräfte, die unsere Sinnesorgane beeinflussen; ein auf uns nicht wirkendes Stück Materie würde für uns nicht existieren. Weil wir von der Materie nur Wirkungen kennen, also die von ihr ausgehenden Kräfte, so sind Kräfte das eigentlich Wirkliche in der Natur. Die Materie geht in Kraft auf, ohne dass es eines Trägers dieser Kraft bedürfte. Schon Kant sagt in den Anfangsgründen der Naturwissenschaft: „Die Ursache einer Bewegung heisst bewegende Kraft. Also erfüllt die Materie den Raum als bewegende Kraft und nicht durch ihre blosse Existenz.“ [1] Und ferner: „Das allgemeine Prinzip der materiellen Natur ist, dass alles Reale der Gegenstände äusserer Sinne als bewegende Kraft angesehen werden müsse.“ [2] Somit besteht auch für Kant das Wesen der Materie in Kraft, ihr Begriff wird auf den Kraftbegriff zurückgeführt; für einen besonderen Stoff als Träger der Kraft bleibt kein Platz übrig. Zwanglos fügt sich diese Auffassung in Faradays Feldtheorie ein. Kraft geht von der Materie aus; die Materie erregt dadurch ein Feld, und das Feld wirkt auf die Materie zurück. Die Verbindung von Feld und Materie ist somit eine dynamische. Übertragung von Kraft findet statt durch Ausbreitung von Energie und Impuls im kontinuierlichen Felde. Wenn ich hiermit den Kraftbegriff gleichsam zum Generalnenner machte für die so mannigfaltigen Erscheinungen, die uns zunächst im Gebiet der unbelebten Natur entgegentreten, so brauche ich wohl kaum besonders hervorzuheben, dass dies ein Versuch ist zur Gestaltung oder Formulierung einer Übersicht über die Fülle der uns bekannten Tatsachen aus einheitlichem Gesichtspunkte. Der Versuch einer Lösung von Welträtseln liegt mir ganz fern!

Elektrizität als Grundbestandteil der Materie vermag mechanische Arbeit zu leisten, nicht aber geistige oder seelische, auch nicht in der primitiven Weise, wie der Verstand eines Hundes oder einer Katze sie zeigt. Wir mögen seelische Arbeit analog der

---

[1] Dynamik, Satz 1.

[2] Allgemeine Anmerkung zur Dynamik.

mechanischen denken; sie bleibt doch etwas von letzterer gänzlich Verschiedenes. Aber Kräfte sehen wir von der tierischen und der menschlichen Seele ausgehen, und der feinsinnige Mathematiker Leo Pochhammer, weiland Professor an der Universität Kiel, hatte den Mut, in seiner kleinen Schrift über Willensfreiheit[1] diese Kräfte von den anorganischen Kräften, die ich materielle Kräfte nenne, unter der Bezeichnung von supermateriellen Kräften zu unterscheiden. Pochhammers Arbeit scheint wenig beachtet worden zu sein; ich fand seine Gedanken in der mir zugänglichen Literatur nirgends erwähnt. Auch als Mathematiker dürfte Pochhammer nur den engsten Fachkreisen näher getreten sein. Will man sich aber auf eine Autorität berufen, so muss sie bekannt sein. Ich erlaube mir daher eine kleine Erzählung. Einst begegnete mir auf der Strasse in Kiel mein Jugendfreund, der sicher allgemein bekannte Mathematiker Felix Klein aus Göttingen. „Ich komme von Christiania und bin auf dem Wege zu Dir", sagte er. Als ich meiner Freude Ausdruck gab, dass er seine Reise zum Behuf unseres Wiedersehens unterbrochen habe, entgegnete er: der eigentliche Zweck seines Aufenthalts in Kiel sei dies nicht, sondern sein Bedürfnis, Pochhammer kennen zu lernen. Derselbe komme nicht auf Kongresse und publiziere so wenig; aber was er veröffentlicht habe, sei so bedeutend, dass er sich längst vorgenommen habe, ihn einmal aufzusuchen; er komme jetzt von Pochhammer und habe das Bild erfüllt gefunden, das er sich von ihm gemacht. — Während ich selbst Pochhammer als geistvollen Kollegen stets hochgeschätzt hatte, erhielt ich hier zum erstenmal ein Urteil über seine mathematischen Leistungen von kompetenter Seite. Dass fortan auch seine kleine psychologische Arbeit mein Interesse in gesteigertem Masse weckte, brauche ich wohl kaum auszusprechen.

Pochhammer nennt die von ihm entwickelte Idee der supermateriellen Kräfte bescheiden eine Hypothese, indem er folgendes dazu sagt: „Eine Hypothese erhebt niemals den Anspruch, neue Kenntnis zu bringen; sie will immer nur eine Übersicht über Bekanntes ermöglichen, und sie verfolgt kein höheres Ziel, als scheinbare Widersprüche zu beseitigen." Er vertritt die Ansicht, dass auch in der Seele und von der Seele ausgehend sich Kräfte gel-

[1] L. Pochhammer, Zum Problem der Willensfreiheit. Eine Betrachtung aus dem Grenzgebiet von Naturwissenschaft und Philosophie. (Stuttgart, Kielmann, 1908.)

tend machen, die nicht unter die materiellen Kräfte[1] eingereiht werden können, weil die Seele ein immaterielles Etwas ist. Obgleich diese seelischen Kräfte auf das materielle System des Leibes einwirken, stehen sie doch gewissermassen über der Materie; darum nennt er sie supermaterielle Kräfte. —

Seelische Kräfte hat der Sprachgebrauch längst unterschieden, wie Urteilskraft, Willenskraft, Denkvermögen usw. Wenn wir diese seelischen Kräfte auch analog zu den materiellen denken dürfen, sind sie doch sicher davon verschieden; nichtsdestoweniger sind sie der Ausdruck für ein erfahrungsmässig, ein tatsächlich Wirksames, das wir seiner Wirksamkeit halber unter den Begriff der Kraft stellen können. Ich glaube meinerseits, dass die eigenartige Gesetzmässigkeit des Seelenlebens und seine Ausrüstung mit supermateriellen Kräften nicht als Hypothese bezeichnet zu werden braucht, weil sie für uns gegebene Tatsache und gewisseste Wirklichkeit ist. Dass auch im Verstande der Tiere solche supermaterielle Kräfte wirksam werden, kann keinem Zweifel unterliegen; auch der tierische Verstand arbeitet in den Kategorien von Raum, Zeit und Kausalität.

Der Zusammenhang von Leib und Seele ist uns gegeben; für die Art der Einwirkung der seelischen Kräfte auf die Stoffteilchen des Leibes fehlt uns aber jede Vorstellung. Im Organismus wirken materielle und supermaterielle Kräfte zusammen, auch werden die letzteren durch die ersteren beeinflusst; aber unserer Phantasie fehlt jede Anschauung einer Brücke zwischen dem leiblichen und dem seelischen Bereich, obgleich die Erfahrung uns das Dasein solcher Brücke in jedem Augenblicke zeigt. Wie Denken und Bewusstsein mit Stoffbewegungen zusammenhängen und zusammenwirken, wissen wir nicht und werden es vermutlich niemals wissen. Damit müssen wir uns abfinden. Dass unser menschliches Vorstellungs- und Begriffsvermögen ein unvollkommenes ist, wird bewiesen durch die Unvorstellbarkeit eines seelisch-materiellen Zusammenhangs, an dessen Tatsächlichkeit nicht zu zweifeln ist.[2] Die Hypothese des sogenannten Hylopsychismus, wonach jedes leblose Stoffteilchen, jeder Salzkristall, jede Flüssigkeit, jedes Atom und jedes Elektron schon beseelt sein soll, und die Zuordnung seelischer zu

[1] Diese werden von Pochhammer „Naturkräfte“ genannt.

[2] Auf die Hypothese des „psychophysischen Parallelismus“ (den ich für widerlegt halte) einzugehen, gebrach es an Zeit.

materiellen Qualitäten eine allgemeine Grunderscheinung des Naturzusammenhangs bilden soll, erscheint wenig einleuchtend, weil dann der Begriff der Seele und des Geistes jeden Sinn verlieren würde. Schon bei der lebendigen Pflanze fahndet man vergeblich nach Spuren von Bewusstsein und Denken. Elektrizität vollends kann schwerlich denken, und die Materie ist doch ein elektrisches System.

Weil Kraftwirkungen sich vom materiellen System des Gehirns auf das immaterielle System der Seele und umgekehrt übertragen, weil also dynamische Wechselbeziehungen zwischen beiden bestehen, wird unsere Einbildungskraft immer wieder nach Analogien zur materiellen Kraftübertragung suchen. Freilich ist durch Gleichnisse allein ein wissenschaftlicher Zusammenhang nicht zu erweisen; doch als Ahnungen eines solchen Zusammenhangs oder als provisorische Vorstellungen sind sie nicht ohne Wert. Dann kann seelische Arbeit analog zur mechanischen gedacht werden, so inkommensurabel beide auch sind. Schon Descartes nahm an, dass die Seele, ohne selbst Bewegung zu erzeugen, doch lenkend auf den Leib einwirke, etwa wie der Reiter auf das Ross. Und vom Altmeister der Dynamik, von Julius Robert Mayer, besitzen wir aus dem Jahre 1845 den Ausspruch: „Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfboots. Der geistige Einfluss aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Gang setzen oder am nächsten Riff zerschellen würde, er lenkt, doch er bewegt nicht. Zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohle, und ohne diese bleibt das Schiff auch beim stärksten Willen seiner Lenker tot.“ — Wenn man annimmt, dass innerhalb seelischer Regungen das Kausalgesetz so gut gilt wie für körperliche Bewegungen, wird man auch kausale Wechselbeziehungen zwischen beiden nicht von der Hand weisen.

Ich möchte glauben: wie im Kondensator ein elektrisches Feld zwischen den beiden Metallplatten besteht, so spannt sich ein Feld seelisch-materieller Wechselwirkung zwischen dem Protoplasma der Hirnzellen und dem, was wir unter Seele verstehen. — — —

Ich selbst habe von den seelischen eine zweite Gruppe supermaterieller Kräfte unterschieden und sie diaphysische Kräfte genannt.[1] Sie gelten mir allerdings nur als hypothetischer, als provi-

[1] J. Reinke, Grundlagen einer Biodynamik (Berlin, Bornträger, 1922), S. 5. 146.

sorischer Begriff, als ein X und Y in der Gleichung des Organismus. Mit wenigen Worten sei darauf eingegangen.

Wenn wir vom Bildungspotential der Keimzelle eines Tieres oder einer Pflanze aus deren embryologische Entwicklung verfolgen, so lässt sich letztere zunächst kinematisch auffassen und beschreiben, indem man darauf hinweist, dass die Systembedingungen der Phase B aus denen der Phase A, die der Phase C aus denen der Phase B usw. hervorgehen, dass also eine Veränderung von Form und Gefüge auf eine frühere Veränderung folgt. Befriedigend ist ein Stehenbleiben bei dieser Erklärung indes nicht, und lenkende Kräfte drängen sich unserer Phantasie geradezu auf, welche die Reihen der gestaltlichen Differenziale auf das Integral des erwachsenen Organismus hinsteuern. Nur vermag ich wegen ihrer absoluten Bewusstlosigkeit diese Kräfte nicht als seelische anzuerkennen[1] und habe sie deswegen als diaphysische Kräfte oder Dominanten unterschieden. Ebensowenig scheinen mir die diaphysischen materielle Kräfte zu sein; sie leisten weder mechanische Arbeit, noch besitzen sie, soweit wir bis jetzt wissen, selbst Form, wie die Systembedingungen, obgleich sie gestaltend wirken. So wenig wie materielle Kräfte, als da sind Kristallisation, Lösung, Verdampfung, Quellung, Fällung, chemische Affinität usw. für sich allein ein Haus oder eine Maschine bauen können, so wenig vermögen sie durch ihre blosse Kombination oder gar Summierung den Leib eines Organismus aufzubauen. Auch ein energetisches Potentialgefälle, als Träger des embryologischen Prozesses gedacht, kann uns hierbei nicht weiter bringen; denn niemand wird glauben, dass Elektrizität ein Kunstwerk zu gestalten vermöchte. Im Bildungspotential einer tierischen Keimzelle war aber bereits z. B. das Auge mit Hornhaut, Linse, Netzhaut usw. determiniert; im Bildungspotential einer pflanzlichen Keimzelle waren es Chlorophyllkörper, Wurzelhaare, Geschlechtszellen usw. Man könnte die Vorgänge der leiblichen Vererbung und Entwicklung dahin kennzeichnen, dass man eine Ladung von Spermie und Ei mit organisierenden, d. h. diaphysischen Kräften annimmt, die neben der materiellen, d. h. elektrischen Ladung besteht.[2] Ein Erbfaktor oder ein sogenanntes Gen kann aufgefasst

[1] Wie das seitens der Psychobiologen geschieht, welche die diaphysischen Kräfte den „psychischen“ beizählen.

[2] In den Keimzellen der Grosshirntiere und des Menschen besteht daneben noch eine Ladung mit seelischen Kräften; auch die niederen Tiere kommen hier mit in Betracht (z. B. Ameisen).

werden als ein materielles System von spezifischer Konfiguration und spezifischer Bewegung, von dem ein organisierendes Führungsfeld oder ein gestaltendes Wirkungsfeld ausgeht, in welchem diaphysische Kräfte mit materiellen zusammenwirken, um die erforderlichen Systembedingungen und durch sie den Aufbau des Ganzen hervorzubringen. Es müssen Kräfte, die auf Herstellung der Ganzheit des Organismus abzielen, die materiellen physiko-chemischen Vorgänge in ihrer Entwicklung lenken oder zwingen, und solche hypothetischen Kräfte nannte ich diaphysische oder Dominanten. In Explosivkörpern und Giften zeigt sich mit besonderer Deutlichkeit die Bindung der Kraft an den Stoff. So mögen auch die gestaltenden diaphysischen Kräfte an den zu gestaltenden Stoff gebunden sein, vielleicht an unbekannte chemische Verbindungen, wofür ja das Wort Hormon in der Gegenwart beliebt ist. Dass bei Annahme solcher lenkenden diaphysischen Kräfte einer strengen Naturgesetzlichkeit der organischen Entwicklung Abbruch geschähe, wäre ein Fehlschluss. Von den seelischen Kräften dürften sich die diaphysischen Kräfte noch dadurch unterscheiden, dass sie durch den Erbgang feststehende, nicht leicht willkürlich abänderbare Wirksamkeiten sind, worin sie mit den Instinkten der Tiere übereinstimmen. Man könnte auch die Instinkte, z. B. die von einer Spinne ererbte Fähigkeit, ein Netz zu weben, vielleicht den diaphysischen Kräften beizählen.

Ich fasse zusammen. Helmholtz sagt einmal: „Jede physikalische Erklärung muss zu den Kräften aufsteigen, und die können natürlich nie Objekte der sinnlichen Anschauung werden.“ Ich gehe einen Schritt weiter: das Wesen der Naturkräfte mit Einschluss der seelischen Kräfte können wir mit unsern Mitteln der Beobachtung weder erkennen noch definieren; nur an der Wirksamkeit und darum Wirklichkeit der Naturkräfte ist nicht zu zweifeln. Sie bleiben in ihrem weitesten Sinne ein letztes Gegebenes. Um noch einmal ein früher gebrauchtes Bild zu wiederholen: bei allen Organismen besitzen die Keimzellen neben der elektrischen eine diaphysische Ladung; bei den mit einer Seele begabten Tieren tritt eine seelische Ladung hinzu. Den innern Zusammenhang dieser dynamischen Faktoren im Potential der Keimzellen vermögen wir nicht zu durchschauen; wir wissen nur, dass sie auf den späteren Stufen der Entwicklung als Kräfte sich auswirken. Hierbei sei nochmals hervorgehoben, dass die Systembedingungen innerhalb eines Orga-

nismus und die von ihnen ableitbaren Systemkräfte Tatsachen sind, während ich die Dominanten oder diaphysischen Kräfte nur als eine vorläufige Erklärung des Zusammenhangs dieser Tatsachen gelten lasse. Kann man sie durch eine einleuchtendere Erklärung ersetzen, so werde ich dieser gern zustimmen. Wie dem Erkenntnisvermögen eines Hundes und einer Katze Schranken gesetzt sind, bestehen sie auch für den Menschen. Ein die Lösung der ihm zugänglichen wissenschaftlichen Aufgaben beeinträchtigender Hochmut des Menschen macht sich geltend, wenn er sich vermisst, alles begreifen und alles vorstellen zu können, wenn er auch nur glaubt, dass seine Theorien frei von Irrtümern wären.

Von Naturkräften konnte in dem Sinne, wie es hier geschah, nur gesprochen werden unter der Voraussetzung, dass die seelische Seite des Lebens mit zur Natur gehört.[1] Eine gegenteilige Meinung, die streng zu scheiden sucht zwischen dem Reich der Seele und dem der Natur, ist weit verbreitet. Auf ihre Argumente kann hier nicht eingegangen werden; sie sind nicht naturwissenschaftlicher Art. Auch wollte ich meinerseits in dieser Darbietung nur eine These aufstellen, einer persönlichen, subjektiven Überzeugung Ausdruck verleihen. Nach dieser Überzeugung besteht die Natur mit Einschluss von Leib und Seele der Tiere und des Menschen aus einem Gewebe geordnet ineinandergreifender Kräfte. Die Kräfte sind nicht nur Klammern, durch die das All der Natur zusammengehalten wird, sie sind die „letzten Realitäten", sind die Natur selbst. Wollen wir das Wesentliche aus dem Gesamtbilde der Natur herausheben und es mit einem Worte bezeichnen, so lautet es Kraft. Wir beugen uns damit vor einer erhabenen Weltordnung, deren letzten Grund menschliche Wissenschaft nicht zu enthüllen vermag.

Max Planck[2] hat kürzlich gesagt, dass auch die Naturwissenschaft ohne eine gewisse Dosis Metaphysik nicht auskommen könne. Wenn es nur eine allgemein gebilligte Definition von Metaphysik gäbe, um ihre Grenzen gegen die Physik, bzw. die Naturwissenschaft feststellen zu können! Gewöhnlich versteht man unter Meta-

[1] Meine in diesem Vortrage skizzierten Anschauungen erfuhren eine ausführlichere Darstellung in dem Büchlein: J. Reinke, Das dynamische Weltbild. Physik und Biologie (Leipzig, Barth, 1926).

[2] Max Planck, Physikalische Gesetzlichkeit im Lichte neuerer Forschung. In „Die Naturwissenschaften", 1926, S. 261.

physik das Gebiet des Übersinnlichen, für unser Erkenntnisvermögen Transzendenten. Dies Gebiet kommt für die Naturwissenschaft nicht in Betracht. KANT dagegen definiert in der Vorrede zu seinen Anfangsgründen der Naturwissenschaft Metaphysik als reine Vernunfterkenntnis aus blossen Begriffen. Tun wir auf dieser Bahn einen Schritt vorwärts, und denken wir die ungeheure Kraftsumme, welche die materielle wie die seelische Seite der Natur bildet und erhält, ausstrahlen von einem über alle Begriffe machtvollen, über dem Raume erhabenen Zentrum oder Quell,[1] so würde dieser Gedanke zu einer Theologie der Naturwissenschaft führen.

[1] In seiner geistvollen Studie: „Das Problem Wissenschaft und Religion" (Braunschweig, Vieweg, 1925) braucht O. D. CHWOLSON das Wort „Quellpunkt".

La catalyse en chimie et en biologie

par

M. le Prof. Dr abbé J.-B. Senderens

Mesdames et Messieurs,

Il y aurait pour moi quelque témérité à prendre la parole après le savant et renommé Prof. Dr Reinke que vous venez d'applaudir si je n'étais assuré de votre très bienveillante indulgence.

Je commencerai par exprimer ma sincère gratitude à la Société Helvétique des Sciences Naturelles qui, par l'organe de son Comité annuel et de son très sympathique et distingué Président M. le Prof. Dr Bays, a bien voulu me faire le très grand honneur de m'inviter à donner cette conférence.

M. le Président pourrait vous dire l'empressement que j'ai mis à répondre à son aimable invitation, empressement qui aurait sans doute encore été plus grand si j'avais connu, comme je les connais maintenant par les relations que j'ai eues ici avec plusieurs de ses membres, tout ce qu'il y a d'amabilité, de courtoisie et de cordialité dans votre ancienne et illustre société.

Au surplus j'étais attiré en Suisse par la sympathie profonde qui existe en France pour votre beau et noble pays, sympathie réciproque dont les deux nations se sont donné de multiples témoignages. Voilà pourquoi, mes chers collègues de l'Académie des Sciences, Lugeon et Pictet, nous sommes heureux et fiers de vous posséder parmi nos Académiciens; et pour répondre à des paroles imprudentes sinon malveillantes qui n'auraient pas dû être prononcées dans un Congrès tout pacifique, et chez des hôtes amis, j'ajouterai que dans la liste de l'Institut de France où vous occupez une place si brillante, vos deux noms y resteront immortellement inscrits avec la double marque de la science et de la loyauté.

Historique

Le sujet de cette conférence était tout indiqué; je ne pouvais vous entretenir que de ce dont je me suis toujours à peu près exclusivement occupé et c'est ainsi que j'essaierai de vous exposer,

dans ses grandes lignes, le rôle de la catalyse en chimie avec un court aperçu de ses rapports avec la biologie.

Dès le commencement du siècle dernier on avait remarqué que certains corps, par leur seule présence, déterminaient des réactions chimiques. L'expérience la plus célèbre fut celle de Dœbereiner qui, en 1823, enflamma un mélange d'oxygène et d'hydrogène par le simple contact de ce mélange avec l'éponge de platine. Dulong et Thénard la communiquaient en ces termes à leurs collègues de l'Académie des Sciences:

« M. Dœbereiner, professeur à l'Université d'Iéna, vient de découvrir un des phénomènes les plus curieux que puissent présenter les sciences physiques. Nous ne connaissons le travail qu'il a fait à ce sujet que par l'annonce qui en a paru dans le « Journal des Débats » du 24 août dernier, et par une lettre de M. Kastner à M. le Dr Liebig, que ce savant, actuellement à Paris, a bien voulu nous communiquer. Il y est dit que M. Dœbereiner a observé que le platine, en éponge, détermine, à la température ordinaire, la combustion de l'hydrogène avec l'oxygène, et que le développement de chaleur résultant de cette action peut rendre le métal incandescent. Nous nous sommes empressés de vérifier un fait aussi surprenant. Nous l'avons trouvé très exact, et comme l'expérience peut se faire avec la plus grande facilité, nous allons l'exécuter sous les yeux de l'Académie. »

L'éclat jeté par cette expérience devait susciter de nombreuses recherches dans la nouvelle voie qui s'ouvrait aux chimistes.

En 1831, Pélegrin Phillips, fabricant de vinaigre à Bristol, breveta en Angleterre l'emploi de la mousse de platine pour oxyder, au moyen de l'air, l'anhydride sulfureux provenant du grillage des pyrites et produire l'anhydride sulfurique. Malheureusement les impuretés des gaz employés mettaient rapidement la mousse de platine hors d'usage. Ce n'est que beaucoup plus tard, en 1875, que grâce à l'emploi de gaz soigneusement purifiés, Winkler a pu réaliser avec succès, par la méthode de Phillips, la fabrication de l'acide sulfurique.

Toujours avec la mousse de platine, Kuhlmann, en 1838, obtenait l'Ammoniaque par le simple passage à froid ou à température peu élevée des oxydes d'azote mêlés à l'hydrogène.

On employait aussi le noir de platine, et entre autres expériences, je citerai celle de Debus qui, en 1863, hydrogéna

complètement l'acide Cyanhydrique et le convertit en Methylamine.

Dans tous ces exemples, le platine semblait n'éprouver aucune modification et n'intervenir que par son contact ou sa seule présence pour provoquer les réactions. Berzélius, en 1835, attribua ces phénomènes à une force spéciale, la force *catalytique* inhérente au platine et aux corps capables de jouer comme lui dans les combinaisons, le rôle d'agents de contact, autrement dit de *Catalyseurs.*

Ce nom de *Catalyse* Berzélius le tirait du mot grec *καταλυσις*, *destruction,* justifié par la conception qu'il se faisait de ce genre de phénomènes. Pour le célèbre auteur de la théorie électrochimique la force catalytique avait pour effet, en réveillant dans un composé les affinités assoupies, de *détruire* les liaisons des éléments pour amener ceux-ci à un groupement d'une neutralisation électrochimique plus parfaite.

Le platine ne fut pas le seul catalyseur employé. On expérimenta avec un certain nombre de métaux voisins, avec des corps poreux non métalliques, charbon, pierre ponce, etc.; et l'on obtint des résultats assez médiocres, puisque les recherches dans cette direction se firent de plus en plus rares.

Hydrogénations

Tel était l'état de la question lorsqu'en 1897 parurent dans les Comptes-rendus de l'Académie des Sciences les premières communications de Sabatier et Senderens sur les hydrogénations catalytiques au moyen de métaux divisés. Le point de départ de ces recherches fut une note de Moissan et Moureu publiée en 1896 dans les mêmes Comptes-rendus. Ces deux savants avaient constaté que si l'on dirige un courant rapide d'acétylène sur du cobalt, du nickel ou du fer réduits de leurs oxydes, ainsi que sur du noir de platine, il se produit une incandescence avec mise en liberté de charbon et d'hydrogène en même temps qu'il se forme du benzène. Ils attribuèrent la cause du phénomène à une condensation physique du gaz opérée par le métal, qui déterminait l'incandescence et par suite la destruction pyrogénée de l'acétylène. L'année suivante, Sabatier et moi nous fîmes passer vers 300° de l'éthylène sur du nickel réduit. — Nous constatâmes le même foisonnement charbonneux qu'avec l'acétylène, mais nous reconnûmes

que le gaz dégagé, au lieu d'être de l'hydrogène pur, comme on aurait dû s'y attendre d'après les observations de Moissan et Moureu, renfermait de l'*éthane* C^2H^6. Nous en conclûmes que l'hydrogène provenant de la destruction d'une partie de l'éthylène s'était uni, dans une certaine proportion, à l'éthylène non décomposé pour former de l'éthane :

$$C^2H^4 = 2\,C + 2\,H^2$$
$$C^2H^4 + H^2 = C^2H^6.$$

S'il en était ainsi, on pouvait espérer qu'en faisant passer sur du nickel divisé un mélange d'éthylène et d'hydrogène il se formerait de l'éthane. — Et, en effet, ce gaz se produisit dès la température ordinaire. — Il en fut de même pour le mélange d'acétylène et d'hydrogène.

Telle fut la première hydrogénation réalisée sur le nickel divisé. Nous la reproduisîmes, mais beaucoup moins bien, avec le cobalt, le fer et le cuivre divisés.

L'appareil dont nous nous servions et que nous avons adopté dans le cours de toutes nos recherches consistait en un tube de verre d'Iéna, dans lequel se trouvait étalée, sur toute sa longueur, une traînée peu épaisse d'oxyde de nickel qui par sa réduction devait fournir le métal divisé. Par l'une des extrémités de ce tube arrivait l'hydrogène soigneusement purifié et aussi la substance à hydrogéner gazeuse ou liquide. — Dans le cas d'un gaz, un simple tube suffisait à côté de celui qui amenait l'hydrogène. Les liquides étaient introduits par un tube capillaire dont le diamètre intérieur variait selon leur fluidité. Ces liquides, en tombant goutte à goutte dans le tube d'Iéna porté à une température supérieure à celle de leur ébullition, se transformaient en vapeurs qui se mêlaient à l'hydrogène. L'autre extrémité du tube communiquait avec un flacon plus ou moins refroidi destiné à condenser les produits liquides et qui était relié à une éprouvette reposant sur l'eau, pour recueillir les gaz et les analyser. Le tube d'Iéna était chauffé par une grille à analyse, et sa température donnée par un thermomètre couché, le long du tube, dans la rigole métallique sur laquelle ce tube reposait.

Après avoir hydrogéné l'éthylène et l'acétylène nous nous adressâmes à d'autres carbures incomplets de la série grasse qui, en présence du nickel, se transformèrent en carbures saturés avec la plus grande facilité.

Puis ce fut le tour des aldéhydes et des cétones qui donnèrent, les premières, des alcools primaires, les secondes, des alcools secondaires.

Notre méthode d'hydrogénation fut appliquée ensuite à la série aromatique. La benzine, vers 180°, absorba rapidement 6 atomes d'hydrogène et se transforma en hexaméthylène ou cyclohexane. La même hydrogénation se produisit avec les homologues du benzène, toluène, xylène, qui fournirent les hexahydrures correspondants.

Les phénols, crésols, xylénols furent transformés en cyclohexanol, méthyl et diméthylcyclohexanol.

Les dérivés nitrés gras et aromatiques se montrèrent d'une aptitude remarquable à l'hydrogénation par le même procédé. — L'oxyde de carbone et le gaz carbonique fournirent du méthane.

$$(1)\quad CO + 3\,H^2 = CH^4 + H^2O$$

$$(2)\quad CO^2 + 4\,H^2 = CH^4 + 2\,H^2O$$

On peut arriver au méthane en partant du gaz à l'eau, qui à une température assez basse, se fait principalement d'après l'équation :

$$(3)\quad C + 2\,H^2O = CO^2 + 2\,H^2$$

Supprimons une partie de CO^2 par un absorbant tel que CO^3Na^2 qui par addition de CO^2 deviendra du bicarbonate lequel sera ramené ensuite au carbonate neutre. — On arrivera à l'équation (2) et l'on aura du méthane sans avoir d'autre hydrogène que celui du gaz à l'eau.

J'omets bien d'autres applications de notre méthode pour ne parler que d'une seule : *la fabrication synthétique des pétroles.*

J'ai dit que l'acétylène hydrogéné sur le nickel, au voisinage de la température ordinaire, se transforme en éthane, sans aucune formation accessoire appréciable. Mais si l'on opère vers 200°, on recueille un liquide jaune clair d'une magnifique fluorescence et d'odeur tout à fait semblable aux *pétroles de Pensylvanie* dont il se rapproche par sa densité et par sa composition, mélange de carbures forméniques supérieurs et d'une petite quantité de carbures éthyléniques.

En remplaçant le nickel par le cobalt ou par le fer on obtient des liquides de teinte plus foncée, renfermant une plus forte proportion de carbures éthyléniques et dont l'odeur est tout à fait analogue à celle de certains *pétroles du Canada.*

En faisant varier les conditions de la réaction nous avons pu obtenir les pétroles du *Caucase* et les pétroles mixtes tels que ceux de *Galicie* ou de *Roumanie.*

C'est ainsi que l'acétylène seul dirigé sur le nickel donne par incandescence des carbures benzéniques et éthyléniques qui amenés par un excès d'hydrogène sur du nickel *modérément* chauffé fournissent un mélange de carbures *cycloforméniques* avec une faible dose de carbures forméniques; et l'on a un liquide semblable par sa constitution et ses propriétés physiques au *pétrole de Bakou.*

Si le nickel est chauffé au voisinage de 300°, les carbures cycloforméniques seront partiellement dissociés et par suite se trouveront accompagnés de carbures aromatiques, comme dans les *pétroles de Galicie.*

Enfin si avant l'incandescence l'acétylène est mêlé d'une certaine dose d'hydrogène, le passage du mélange sur le nickel fournit un liquide assez semblable aux *pétroles de Roumanie.*

Que faudrait-il donc pour produire catalytiquement les pétroles? 1° de l'acétylène, c'est-à-dire du carbure de calcium et de l'eau ou, en définitive, de la chaux, du charbon et de l'eau; 2° de l'hydrogène tiré également de l'eau.

Que faut-il pour avoir catalytiquement le méthane, c'est-à-dire un gaz éminemment propre au chauffage et qu'il est très facile de rendre éclairant? Nous l'avons vu, du gaz à l'eau, ou encore du charbon et de l'eau.

On conçoit que dans la crise qui s'annonce et qui existe déjà du pétrole et du gaz d'éclairage on se soit retourné du côté de nos procédés catalytiques et que des chimistes spécialisés dans les grandes installations s'appliquent actuellement à industrialiser ces procédés. Le succès de cette entreprise dont les premiers essais paraissent encourageants, je le souhaite de tout cœur, trop heureux d'y avoir contribué en posant les principes et en réalisant les expériences qui lui auront servi de point de départ.

Déshydrogénations.

Au cours de nos recherches sur les hydrogénations nous avions remarqué que ces hydrogénations étaient souvent limitées par le phénomène inverse, lequel prenait d'autant plus d'importance que la température était plus élevée. C'est de là que naquit l'idée d'étudier ces réactions déshydrogénantes.

Nous commençâmes par faire passer l'alcool éthylique à l'état de vapeurs sur les catalyseurs qui servaient aux hydrogénations et nous constatâmes que le nickel était le plus actif, mais dépassait quelquefois le but, tandis que le cuivre dédoublait l'alcool sans produits de destruction. C'est ainsi qu'à 250° ce dernier métal fournissait avec les vapeurs d'alcool un dégagement de gaz exclusivement formé d'hydrogène, en même temps que dans un récipient refroidi on recueillait un liquide, mélange d'aldéhyde et d'alcool non transformé. La réaction s'était donc effectuée uniquement d'après l'équation:

$$CH^3 - CH^2OH = H^2 + CH^3 - COH$$
Ethanal

Les choses se passent ainsi jusque vers 350°. — Au-dessus de cette température une partie de l'aldéhyde formée est détruite selon l'équation:

$$CH^3 - COH = CO + CH^4$$

Cette action du cuivre est générale et s'étend à tous les alcools primaires qui, entre 250 et 350°, sont régulièrement dédoublés en aldéhyde correspondante et hydrogène.

Les alcools secondaires soumis à l'action du cuivre divisé sont plus facilement encore transformés en cétones, parce que la stabilité de ces dernières est plus grande que celle des aldéhydes. — Même à 400° il n'y a pas de complication appréciable.

La méthode s'applique aux cyclanols — cyclohexanols, methylcyclohexanols, ortho, méta, para, qui fournissent aisément au-dessus de 300° les cétones correspondantes.

L'importance des résultats obtenus par Sabatier et Senderens au moyen de leur procédé d'hydrogénation devait susciter de nombreux émules. — Les travaux de Haller, Bouveault, Darzens, Brunel, Godchot, Leroux, Breteau en France; d'Eykmann et Van der Laan en Hollande; de Willstæter et de ses élèves en Suisse; de Padoa, Ponti, Grassi, Carrasco, Caruchi en Italie; de Zelinsky en Russie, etc., achevèrent de montrer, comme le disait A. Gautier dans sa belle conférence du Cinquantenaire de la Société chimique de France, l'universalité et la puissance de la nouvelle méthode.

Hydrogénation des liquides

En 1902, un chimiste allemand, Normann, qui travaillait pour le compte de la firme Leprince & Siveke à Herford, étendit l'application du procédé en montrant que le nickel réduit conserve ses

propriétés catalytiques hydrogénantes aussi bien dans les liquides que dans les gaz, à la condition de renouveler les surfaces de contact par une agitation continue. C'est ainsi que l'on put réaliser industriellement l'hydrogénation de l'acide oléique liquide et sa transformation en acide stéarique solide.

Aujourd'hui que l'oléine a des emplois multiples dans l'industrie, sa valeur ne diffère pas assez de celle de la stéarine pour qu'il y ait grand profit à l'hydrogéner. Est-ce à dire que la solution d'un problème qui présentait autrefois un intérêt considérable est arrivée trop tard? « Cela serait », dit un chimiste qui s'est spécialement occupé de la question des huiles et des corps gras, « s'il n'existait pas toute une catégorie de matières grasses que leurs propriétés organoleptiques, leur odeur notamment, avaient fait écarter de tous les usages nobles. Les huiles d'animaux marins n'étaient utilisables ni pour la savonnerie ni pour l'alimentation, parce que les acides polyéthyléniques qu'elles contiennent leur communiquent une odeur *sui generis* qui les reléguait dans l'industrie des cuirs et peaux (tannage à l'huile et corroyage) et le graissage des machines. L'hydrogénation transforme ces huiles en matières grasses solides qui ont perdu l'odeur du poisson. Du coup, elles conquièrent leurs titres de noblesse: la savonnerie les accueille; mieux encore, l'industrie de la margarine dont le développement va sans cesse en croissant, en tire très avantageusement parti. » — Ainsi s'exprime M. G. André dans l'une des deux belles conférences faites au Collège de France en 1922 et 1923 sur la « Chimie des corps gras » et il ajoute: « MM. Sabatier et Senderens étaient loin de penser qu'ils préparaient une telle révolution lorsqu'ils poursuivaient patiemment leurs premières recherches sur l'hydrogénation catalytique en présence du nickel ou du cuivre réduits. Les armateurs de pêche, que la découverte de nos savants compatriotes est en train d'enrichir, songent-ils quelquefois à eux? » Je ne sais s'ils ont eu pour nous quelque pensée de gratitude; mais ai-je besoin de dire que cette pensée ne s'est jamais traduite d'une façon effective? Il n'y a pas lieu de s'en plaindre; telle a été toujours la destinée des inventeurs.

Tandis que se poursuivait l'hydrogénation directe des matières grasses liquides au contact du nickel, un chimiste russe, Ipatiew, appliquait dès 1904 cette même hydrogénation à d'autres liquides. Il opérait dans des tubes d'acier d'un quart de litre environ, chauffés

à des températures pouvant atteindre 400° et même 600°, en sorte que l'hydrogène comprimé d'abord à 100 atmosphères arrivait à des pressions de 300 atmosphères. Ipatiew retrouva la plupart des résultats obtenus par Sabatier et Senderens. — Quelques années plus tard, au début de 1912, le chimiste russe introduisit dans les liquides un dispositif destiné à les agiter, comme cela avait lieu pour les huiles dont l'agitation rendait l'hydrogénation si facile. Du coup les températures de ses réactions tombèrent au voisinage de 150° à 200° et les pressions à 30 et 40 kg, ce qui permit d'opérer dans des appareils de plus grandes dimensions et par conséquent avec une plus grande quantité de matière. — Peu de temps après (juillet 1912), Brochet réalisait l'agitation, non par un mécanisme interne, mais par le mouvement de son appareil qui consistait en une boîte rectangulaire en cuivre d'environ un litre à laquelle un moteur imprimait des oscillations très rapides de part et d'autre d'un axe horizontal passant par le milieu de la boîte. L'appareil qui à peine résistait à des pressions de 20 kilos, chauffé électriquement, ne pouvait convenir à l'industrie, car, outre qu'il ne s'adaptait pas au chauffage au gaz, on ne conçoit guère des autoclaves métalliques d'une centaine de litres, pesant 300 ou 400 kg, basculant avec la rapidité de la petite boîte de Brochet.

C'est ce qui me donna l'idée de transformer les oscillations basculaires en un mouvement de va et vient imprimé par un moteur à une bombe d'acier, résistant à 100 kilos, munie de roulettes se déplaçant sur deux rails horizontaux. L'appareil était chauffé au moyen d'une rampe à gaz placée au-dessous de la bombe dans le sens de sa longueur.

A ce dispositif que s'empressèrent d'adopter plusieurs laboratoires, je ne tardai pas à en substituer un plus simple, dans lequel l'autoclave suspendu à ses extrémités par des tringles à deux traverses oscillait comme une tamiseuse dans le sens de sa longueur. Avec cet appareil on peut hydrogéner une centaine de litres de matière et même davantage dans une seule opération et à des pressions pouvant atteindre une centaine de kilos.

Remarque. — Nous avons parlé, au commencement de cette conférence, de quelques hydrogénations effectuées dans les premières années du siècle dernier au moyen de la mousse et du noir de platine et que leur intérêt purement théorique avait reléguées dans les laboratoires. Les propriétés catalytiques hydrogénantes du nickel

engagèrent les chimistes à étudier plus complètement, au même point de vue le platine et le palladium avec lequel, en 1871, KOLBE et SAYTZEFF avaient réalisé des hydrogénations du même ordre que celles du platine: L'influence de l'état divisé dans le pouvoir catalytique du nickel amena les chercheurs à utiliser les métaux nobles précédents à un état de division extrême, et c'est ainsi que BREDIG, PAAL et ses élèves préparèrent le platine colloïdal et le palladium colloïdal avec lesquels, dès 1904, à des températures très modérées, ils réalisèrent des hydrogénations nombreuses et intéressantes, mais qui ne portaient que sur quelques centigrammes de matière.

Il faut en dire autant des hydrogénations par le noir de platine étudiées dès 1908 par WILLSTÆTTER.

Oxydations

Après les hydrogénations catalytiques se placent les oxydations catalytiques. Une des plus connues est la fabrication de l'acide sulfurique par l'oxydation du gaz sulfureux à l'air au moyen de catalyseurs qui furent d'abord la mousse de platine, puis l'amiante platinée et enfin le sesquioxyde de fer provenant de la calcination des pyrites qui fournissent SO^2.

Je me suis beaucoup occupé d'oxyder par catalyse les alcools pour arriver aux aldéhydes et aux cétones. J'avais trouvé que parmi les métaux c'était l'argent en poudre qui se recommandait comme agent de contact, conclusion confirmée par les travaux de MOUREU et MIGNONAC. — Les mêmes recherches poursuivies avec les oxydes métalliques m'avaient montré que comme catalyseurs d'oxydation, le trioxyde de vanadium et l'oxyde de zinc étaient très supérieurs aux autres oxydes. Comparés l'un à l'autre, l'oxyde de vanadium était plus actif et catalysait à une température plus basse, mais l'oxyde de zinc, en revanche, fournit moins de CO^2 et de CO, en sorte qu'une plus grande proportion d'alcool et d'oxygène de l'air est utilisée pour la formation de l'aldéhyde. De plus, en même temps qu'il oxyde l'alcool, l'oxyde de zinc le déshydrogène et donne de ce fait une certaine quantité d'aldéhyde qui s'ajoute à celle de l'oxydation.

D'où il résulte que le meilleur catalyseur pour la production des aldéhydes à partir des alcools serait l'oxyde de zinc.

Attiré par d'autres recherches, j'en étais resté là de mes études sur les catalyseurs oxydants, lorsqu'assez récemment j'ai eu le

plaisir de les voir continuer, sous la direction de M. le professeur Béhal, membre de l'Institut, par un jeune chimiste, M. R. Ottensooser, qui en a fait le sujet de sa thèse inaugurale soutenue le 23 novembre dernier à la faculté des Sciences à Paris. Se fondant sur les résultats que j'avais déjà obtenus, M. Ottensooser s'attacha à les augmenter par une préparation très soignée de l'oxyde de zinc et par la technique adoptée dans ses expériences. Il arriva ainsi aux conclusions suivantes :

« L'oxyde de zinc nous est apparu comme un catalyseur d'oxydation très puissant quoique très doux, permettant de s'arrêter au terme aldéhyde ou cétone par oxydation des alcools, sans que nous ayons jamais observé la présence d'acide. C'est ce que nous avons constaté avec 11 alcools, à des températures variant de 320° à 420° et avec des rendements de transformation en aldéhyde ou cétone compris entre 50 et 95 %. — Au point de vue industriel, ce catalyseur est d'autant plus intéressant qu'il est peu coûteux, d'une préparation simple et rapide et qu'il dure très longtemps. »

Divers sels ont été essayés dans la catalyse d'oxydation, notamment les sels de mercure qui ont permis de transformer l'anthracène en anthraquinone, point de départ de la fabrication de l'alizarine ; le naphtalène en acide orthophtalique qui sert de base à l'une des préparations synthétiques de l'indigo.

Chose curieuse ! Tandis que divers corps provoquent ou favorisent l'oxydation, il en est d'autres qui empêchent l'*autoxydation,* c'est-à-dire l'oxydation spontanée de certaines substances en présence de l'air. Moureu et Dufraisse, qui ont fait une étude approfondie de la question, les appellent *antioxygènes.* Il suffit, par exemple, de traces de composés appartenant à la classe des phénols pour empêcher toute altération de l'acroléine qui s'autoxyde si facilement et se condense ensuite en un solide blanc, le *disacryle.* On a signalé beaucoup de catalyseurs antioxygènes : l'iode et ses composés seraient ceux qui par leur activité se rapprochent le plus des phénols.

Hydratations

Après l'hydrogénation et l'oxydation catalytiques qui introduisent séparément de l'hydrogène et de l'oxygène, arrive l'*hydratation catalytique* qui apporte simultanément l'un et l'autre sous la forme d'une molécule d'eau.

Les applications les plus courantes de l'hydratation catalytique se rapportent à l'hydrolyse dont il sera question à propos de la catalyse par l'acide sulfurique. Je ne citerai ici que l'hydratation remarquable qui, dans ces dernières années, a permis de transformer, en présence d'un sel mercurique, l'acétylène en éthanal et puis en acide acétique

$$CH = CH + H^2O = CH^3CHO.$$
$$CH^3 - CHO + O = CH^3CO^2H.$$

Et je passe aux déshydratations.

Je commencerai par celles qui s'accomplissent par voie sèche.

Déshydratations, alcools

En 1901, Grigorieff avait observé que les vapeurs d'alcool éthylique et d'alcool isobutylique chauffées en présence de l'alumine se décomposent presque exclusivement en carbure éthylénique et eau, avec très peu d'aldéhyde.

De son côté Ipatiew avait obtenu de fortes proportions de carbures éthyléniques en faisant passer, à haute température, les alcools en vapeurs sur le mélange d'argile et de graphite qui sert à fabriquer les creusets de graphite. Mais ayant remarqué que la silice et le graphite en poudre n'exercent aucune action sur les alcools, il en avait conclu que dans le mélange d'argile et de graphite l'alumine était le principe actif, en quoi il se trompait, car l'argile ou silicate d'alumine est un des meilleurs catalyseurs.

Voilà où en était la déshydratation catalytique des alcools par voie sèche lorsque, en 1907, je publiai dans les Comptes-rendus de l'Académie des Sciences une note dans laquelle j'annonçais que les alcools se déshydrataient aussi sous l'influence du *noir animal,* du *sable siliceux,* de la *pierre ponce,* du *phosphate bicalcique,* de la *magnésie,* du *phosphore amorphe* et de *divers phosphates.* Le champ de la déshydratation catalytique par voie sèche ne se bornait donc pas à l'alumine, et il devait être beaucoup plus étendu. C'est ce qui m'engagea à chercher de nouveaux catalyseurs déshydratants. J'ai consigné les résultats de ces recherches dans un mémoire assez étendu paru en avril 1912 dans les Annales de Chimie et de Physique et dont je résumerai ici les principaux résultats.

Les expériences se faisaient avec un dispositif semblable à celui des hydrogénations; on faisait passer les alcools en vapeurs

sur le catalyseur étalé dans un tube en verre d'Iéna, chauffé par une grille à analyse.

Les métaux en limaille déshydratent mal les alcools puisque, avec l'éthanol par exemple, le fer a donné à peine 2 % d'éthylène; le cuivre 4 %; le nickel 7,8 % et celui qui en a donné le plus, le laiton, 11,7 %, le reste étant principalement de l'hydrogène.

Pour les oxydes, les deux meilleurs catalyseurs sont la silice et l'alumine, mais leur activité dépend de leur état physique et de leur mode de préparation.

Voici par exemple ce qui s'observe avec la silice pure: J'ai fait passer les vapeurs d'éthanol sur A et B,

A. — Quartz hyalin réduit en poudre impalpable,

B. — Silice précipitée par HCl. du silicate de sodium, soigneusement lavée et séchée, d'abord à 100° et puis au-dessous du rouge sombre.

Résultats obtenus:

	Température à laquelle commence la réaction	Ethylène en %	Hydrogène en %
A. — Quartz	460°	47,9	52,1
B. — Silice précipitée	280°	99,5	0,5

J'ai calciné ensuite durant six heures au rouge blanc A et B dont l'action sur l'éthanol a été ensuite:

A. — Quartz	480°	4,8	95,2
B. — Silice	390°	82,9	17,1

Par où l'on voit que la silice précipitée qui agissait sur l'éthanol dès la température de 280° en donnant 99,5 % d'éthylène, ne commence à décomposer cet alcool qu'à 390° et avec 82,9 % d'éthylène lorsqu'elle a été portée au rouge blanc durant six heures. Pour le quartz, dans les mêmes conditions, la température de la réaction est passée seulement de 460° à 480°, mais la proportion d'éthylène est tombée de 47,9 à 4,8 %.

Les silices vendues dans le commerce ont une activité qui varie de l'une à l'autre et qui dépend des impuretés qu'elles renferment et de la température de leur préparation. Certaines de ces silices ne sont guère plus actives que le quartz, ce qui expliquerait comment Ipatiew et après lui Sabatier et Mailhe avaient déclaré que la silice avait un pouvoir déshydratant nul vis-à-vis des alcools. Mais plus tard, ces deux derniers chimistes,

en reprenant les expériences avec la silice dont je m'étais servi, c'est-à-dire avec la silice précipitée, retrouvèrent mes résultats. Au surplus, si le pouvoir catalytique des autres silices est très inférieur à celui de la silice précipitée, j'ai montré qu'il a parfois de l'importance et qu'il n'est jamais nul.[1]

L'alumine présente les mêmes particularités que la silice. Sabatier et Mailhe avaient trouvé que même à 400° l'alumine n'avait pas d'action appréciable sur les alcools. Or, de tous les déshydratants catalytiques des alcools par voie sèche, l'alumine précipitée de l'aluminate de soude est le plus énergique, le seul qui m'ait permis de préparer l'étheroxyde. Son action se manifeste sur l'éthanol dès la température de 200°. Elle ne se produit que vers 275° avec l'alumine résultant du chauffage de l'alun ammoniacal, et à 420° avec ces alumines chauffées en rouge blanc.

A la température de 200°, l'alumine précipitée donne avec l'éthanol de l'oxyde d'éthyle, selon l'équation:

$$\begin{matrix} CH^3 - CH^2 - O\boxed{H} \\ CH^3 - CH^2 - \boxed{OH} \end{matrix} = H^2O + \begin{matrix} CH^3 - CH^2 \\ CH^3 - CH^2 \end{matrix} \!\!\rangle O$$

Et il en est ainsi jusque vers 240° où l'éthylène commence à paraître,

soit par la déshydratation de l'oxyde d'éthyle déjà formé:

$$\begin{matrix} CH^3 - CH^2 \\ CH^3 - CH^2 \end{matrix} \!\!\rangle O = H^2O + 2\,C^2H^4;$$

soit par la déshydratation directe d'une molécule d'éthanol:

$$CH^3 - CH^2OH = H^2O + C^2H^4.$$

Au-dessus de 260° il ne se forme guère que de l'éthylène et l'on comprend dès lors qu'avec les alumines qui n'agissent sur l'alcool qu'au-dessus de cette température, l'étheroxyde soit impossible à préparer et que l'on n'obtienne que de l'éthylène.

Avec l'alumine de l'aluminate j'ai préparé l'oxyde de méthyle avec une telle facilité que cette préparation est devenue industrielle.[2]

Pour l'oxyde de propyle la méthode s'applique assez difficilement et elle ne réussit pas pour la préparation des autres oxydes

---

[1] J.-B. Senderens, Ann. Chim. et Phys. Avril 1912.

[2] L'oxyde de méthyle s'obtient avec les alumines de diverses provenances et aussi avec les catalyseurs sels en raison de la température élevée où l'on peut porter la réaction, attendu qu'il ne peut se faire que de l'oxyde de méthyle, le carbure n'existant pas.

à partir des alcools correspondants qui ne fournissent que des carbures C^nH^{2n}.

Ce sont également des carbures de la même forme que l'on obtient avec les sels dont j'ai essayé une cinquantaine, parmi lesquels j'ai retenu comme excellents catalyseurs des alcools les sulfate et silicate d'alumine et certains phosphates.

En groupant les catalyseurs déshydratants, oxydes et sels qui dans le cours de mes recherches ont montré vis-à-vis de l'éthanol la plus grande activité, j'ai dressé le tableau suivant:

Catalyseurs	Température où commence la réaction	Vitesse par minute du gaz dégagé à 340°	Vitesse par minute du gaz dégagé à 370°	Ethylène en %
Phosphate bicalcique	330°	2 cm³	15 cm³	98,7
Phosphate tricalcique	320°	9 „	22 „	98,5
Phosphate bimagnésien	320°	8 „	20 „	99
Phosphate d'alumine	320°	9 „	20 „	99,5
Pyrophosphate magnésien	280°	18 „	32 „	99,3
Silice précipitée	280°	16 „	30 „	99,5
Silicate d'alumine	270°	54 „	78 „	99,5
Argile à modeler	270°	52 „	75 „	97,8
Sulfate d'alumine anhydre	265°	75 „	100 „	99,5
Alumine précipitée	250°	90 „	120 „	99,5

Les catalyseurs précédents m'ont servi à préparer de nombreux produits de déshydratation:

Matière première:	Produit obtenu:
Ethanol	Ethylène
$Propanol_1$	Propylène
$Propanol_2$	Propylène
$Butanol_1$	$Butène_1$ et isobutylène
$Méthyl_2$ propanol	$Butène_1$ et isobutylène
Trimethyl carbinol	Isobutylène
Alcool isovamylique	$Méthyl_2$ $butène_1$ et $méthyl_2$ $butène_2$
— amylique tertiaire	Triméthylethylène
— octylique normal	Octène α
— — secondaire	Octène β
Méthanol	Oxyde de méthyle
Ethanol avec alumine précipitée	Oxyde d'éthyle
Propanol	Oxyde de propyle
Cyclohexanol	Cyclohexène
Orthomethylcyclohexanol	Méthylcyclohexène Δ_1 et Δ_2
Métaméthylcyclohexanol	— Δ_2 et Δ_3
Paraméthylcyclohexanol	— Δ_3

Déshydratation des éthers-sels

Jusqu'ici l'influence des catalyseurs s'est exercée sur les alcools libres. — Qu'arriverait-il s'ils agissaient sur les alcools combinés aux acides organiques — sur les éthers-sels d'acides organiques?

L'alumine précipitée, par exemple, donne avec l'éthanol, au voisinage de 300°, de l'éthylène:

$$C^2H^5OH = H^2O + C^2H^4$$

Donnera-t-elle aussi de l'éthylène avec l'acétate d'éthyle et régénération d'acide acétique?

$$CH^3CO \cdot OC^2H^5 = C^2H^4 + CH^3CO \cdot OH$$

La réaction est tout autre. Elle porte sur deux molécules et l'on a:

$$\left.\begin{matrix} CH^3 \cdot CO \cdot OC^2H^5 \\ CH^3CO \cdot O \cdot C^2H^5 \end{matrix}\right\} = 2\,C^2H^4 + H^2O + CO^2 + CH^3 - CO \cdot CH^3$$

propanone

Il y a donc formation d'éthylène, d'eau et de CO^2 et production d'une cétone la propanone ou diméthylcétone.

Avec le propionate d'éthyle on a la diéthylcétone ou propione

$$2\,CH^3 \cdot CH^2 \cdot CO\,OC^2H^5 =$$

$$2\,C^2H^4 + H^2O + CO^2 + CH^3 \cdot CH^2CO \cdot CH^2 \cdot CH^3$$ propione

Le butyrate d'éthyle fournit la butyrone ou dipropylcétone. C'est ainsi que je fus amené à faire agir les catalyseurs sur les acides organiques libres.

En commençant par l'acide acétique, j'obtins la propanone:

$$2\,CH^3CO \cdot OH = H^2O + CO^2 + CH^3 - CO - CH^3$$

La réaction se produisait en faisant passer vers 400° sur les catalyseurs, des vapeurs d'acide acétique.

Déshydratation des acides: Cétones symétriques

Je ne tardai pas à constater que les catalyseurs sont loin d'avoir la même activité vis-à-vis des divers acides. Par exemple l'alumine précipitée donne, en cétone:

Avec l'acide	acétique	. le	92	%	de la théorie
»	propionique	»	86,5	%	» » »
»	butyrique	. »	65	%	» » »
»	isobutyrique	»	34	%	» » »

En substituant à l'alumine d'autres oxydes, chaux, oxydes de zinc, de cuivre, de cadmium, oxydes chromiques, ferriques, etc., je constatai que plusieurs d'entre eux se comportaient à peu près

comme l'alumine vis-à-vis de l'acide acétique, donnant avec cet acide d'assez bons rendements en propanone, mais incapables, ou peu s'en faut, de transformer avantageusement en cétones les homologues de cet acide.

C'est dans le cours de ces recherches que je découvris dans la thorine, la zircone et, à un moindre degré, dans les oxydes d'uranium, la propriété de convertir régulièrement en cétones et avec des rendements élevés, tous les acides organiques soit gras, soit aromatiques.

Ce qu'il y a de remarquable, c'est que les trois catalyseurs thorine, zircone et oxyde d'uranium déshydratent beaucoup moins bien les alcools que l'alumine précipitée, tandis qu'avec les acides organiques ils donnent en cétones les 96 à 98 % de la théorie. C'est ainsi que dans la série grasse j'ai obtenu avec ces rendements :

Acides	*Cétones obtenues*
Acétique . .	Propanone $CH^3 — CO — CH^3$
Propionique .	Propione ou diéthylcétone $CH^3 — CH^2 = CO — CH^2 — CH^3$
Butyrique . .	Butyrone ou dipropylcétone $CH^3 — CH^2 — CH^2 — CO — CH^2 — CH^2 — CH^3$
Isobutyrique .	Isobutyrone ou diisopropylcétone $\begin{matrix} CH^3 \\ CH^3 \end{matrix} \rangle CH — CO — CH \langle \begin{matrix} CH^3 \\ CH^3 \end{matrix}$
Isovalérique .	Isovalérone $\begin{matrix} CH^3 \\ CH^3 \end{matrix} \rangle CH — CH^2 — CO — CH^2 — CH \langle \begin{matrix} CH^3 \\ CH^3 \end{matrix}$

Cétones dissymétriques

Dans tous ces cas, la déshydratation porte sur deux molécules du même acide. Mais ne pouvait-elle pas porter sur deux molécules d'acides différents et fournir des cétones dissymétriques ou mixtes? C'est en effet ce qui a lieu, et ici, comme dans la calcination de deux sels de chaux à acides différents, on obtient trois cétones :

(1) $2\,R\,CO \cdot OH = R\,CO\,R + CO^2 + H^2O$

(2) $2\,R^1CO \cdot OH = R^1CO\,R^1 + CO^2 + H^2O$

(3) $R\,CO \cdot OH + R^1CO \cdot OH = R\,CO\,R^1 + CO^2 + H^2O$

Or, j'ai remarqué que c'est la réaction (3) c'est-à-dire la cétone mixte qui prédomine, surtout lorsqu'on emploie en excès l'un des acides. — C'est ainsi qu'en opposant 1 mol. d'acide isobutyrique à 3 mol. d'acide acétique, on obtient de la méthylisopropylcétone et de la propanone avec une faible proportion d'isobutyrone

$$\left.\begin{matrix}CH^3\\CH^3\end{matrix}\right\rangle CH \cdot CO^2H + 3\ CH^3 \cdot CO^2H = CH^3CO - CH^3$$

Propanone

$$+ \left.\begin{matrix}CH^3\\CH^3\end{matrix}\right\rangle CH \cdot CO - CH^3$$

Méthylisopropylcétone

$$+ 2\ H^2O + 2\ CO^2$$

Dans ces conditions, la séparation de la cétone mixte par distillation fractionnée devient assez facile.

J'ai préparé de cette manière:

Avec les acides	*Les cétones mixtes*
Acétique et propionique . . .	méthyléthylcétone
» » butyrique	méthylpropylcétone
» » isobutyrique	méthylisopropylcétone
» » isovalérique . . .	méthylisobutylcétone
Propionique et butyrique . . .	ethylpropylcétone
» » isovalérique . .	ethylisobutylcétone

Après avoir établi par de multiples exemples ma méthode de préparation de cétones grasses, je ne pouvais manquer d'en faire l'application à la série aromatique, où je présumais qu'elle aurait le même succès. Eh bien, à ma grande surprise, mes premières expériences aboutirent à un échec des plus complets. Je m'étais adressé au plus simple des acides aromatiques, l'acide benzoïque, et en dirigeant ses vapeurs au-dessus de 400° sur la thorine ou sur la zircone, je constatais, contre toute attente, que ces vapeurs passaient sur ces catalyseurs sans être altérées et qu'il ne se produisait pas de benzophénone.

Avant d'abandonner ce sujet je voulus tenter une autre expérience en obtenant, par l'emploi d'un dissolvant, un débit plus régulier de l'acide benzoïque lequel se solidifiait fréquemment dans le tube adducteur. Je fis donc dissoudre cet acide dans l'acide acétique (1 mol. du premier pour 3 mol. du second), et le mélange fut dirigé sur la thorine vers 400°. Je m'attendais évidemment

à recueillir de la propanone; mais j'obtins en même temps l'acétophénone, cétone mixte résultant de la déshydratation de 1 mol. d'acide benzoïque et de 1 mol. d'acide acétique. — Il ne s'était pas fait de benzophénone.

La réaction s'était donc opérée selon l'équation:

$$C^6H^5 \cdot CO^2H + 3\,CH^3CO^2H = CH^3 - CO - CH^3 \text{ propanone} + C^6H^5CO \cdot CH^3 \text{ acétophénone} + 2\,CO^2 + 2\,H^2O$$

Cette expérience montrait que les cétones *mixtes* aromatiques s'obtiennent par catalyse comme les cétones mixtes de la série grasse; mais qu'avec l'acide benzoïque mêlé à l'acide gras, c'est la cétone *symétrique* dérivée de ce dernier qui se forme, à l'exclusion de la benzophénone, et que l'acide benzoïque n'intervient que dans la formation de la cétone mixte aromatique.

Pour qu'il en soit ainsi, il faut que dans l'acide benzoïque

$$C^6H^5\boxed{CO} \cdot OH$$

le carbonyle $\boxed{CO}$ soit tellement fixé au noyau aromatique qu'il ne puisse s'en détacher par catalyse, comme l'exigerait la production de benzophénone

$$\left.\begin{matrix} C^6H^5CO \\ C^6H^5 \end{matrix}\right\rfloor\!\!\lceil \begin{matrix} OH \\ CO \cdot OH \end{matrix} = C^6H^5 \cdot CO \cdot C^6H^5 + CO^2 + H^2O$$

Benzophénone

de telle sorte que, dans la production de la cétone mixte, le carbonyle reste uni au noyau benzénique, tandis qu'il se détache de l'acide gras, comme l'indique le schéma

$$\left.\begin{matrix} C^6H^5CO \\ CH^3 \end{matrix}\right\rfloor\!\!\lceil \begin{matrix} OH \\ CO \cdot OH \end{matrix} = C^6H^5 \cdot CO \cdot CH^3 + CO^2 + H^2O.$$

On conçoit dès lors que si au lieu d'acide benzoïque on prend un acide aromatique, tel que l'acide phénylacétique $C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CO \cdot OH$, dans lequel le carbonyle est fixé non plus au noyau aromatique, mais à un groupe forménique, les liaisons de ce carbonyle seront les mêmes que dans les acides gras et que la catalyse le détachera avec la même facilité pour donner une cétone aromatique symétrique.

C'est, en effet, ce qui arrive avec cet acide phénylacétique qui en présence de la thorine ou de la zircone, de 430° à 460°, donne la cétone symétrique, la dibenzylcétone.

$$\begin{matrix} C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CO \cdot \boxed{OH} \\ C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot \boxed{CO \cdot OH} \end{matrix} = C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CO \cdot CH^2 \cdot C^6H^5 + CO^2 + H^2O$$

Dibenzylcétone

Dans les mêmes conditions, l'acide phénylpropionique donne également la cétone symétrique

$$\begin{matrix} C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CH^2 \cdot CO \cdot \boxed{CH} \\ C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CH^2 \cdot \boxed{CO \cdot OH} \end{matrix} =$$

$$C^6H^5 \cdot CH^2 \cdot CH^2 \cdot CO \cdot CH^2 \cdot CH^2 \cdot C^6H^5 + CO^2 + H^2O.$$

Diphénylpropione

Au contraire, avec les acides toluiques, ortho, meta et para, $C^6H^4 \begin{matrix} CO \cdot OH \\ CH^3 \end{matrix}$ où le carbonyle est lié au noyau aromatique, il ne m'a pas été possible d'obtenir la cétone symétrique, la dicresylcétone.

Je ne l'ai pas rencontré davantage avec les acides naphtoïques α et β. $C^{10}H^7 \cdot CO^2H$.

Avec ces acides toluiques et naphtoïques, lorsqu'ils sont mêlés aux acides gras, on n'obtient jamais que deux cétones, la cétone symétrique grasse et la cétone mixte aromatique d'après l'équation suivante où R représente un résidu aromatique et R^1 un résidu forménique

$$RCO \cdot OH + R^1CO \cdot OH = RCOR^1 + R^1COR^1 + 2\,CO^2 + 2\,H^2O.$$

Avec l'acide phénylacétique, au contraire, de même qu'avec l'acide phénylpropionique on a, outre la cétone mixte aromatique, deux cétones symétriques, grasse et aromatique

$$3\,RCH^2CO \cdot OH + 3\,R^1CO \cdot OH =$$
$$RCOR^1 + R^1COR^1 + RCOR + 3\,CO^2 + 3\,H^2O.$$

Leur séparation n'est pas difficile en raison de la grande différence des points d'ébullition. Pour le mélange, par exemple, d'acide phénylacétique et d'acide acétique on aurait:

la propanone qui bout à . . .	56°
la méthylbenzylcétone qui bout à	216,5°
la dibenzylcétone qui bout à . .	329°

Ici d'ailleurs, de même que pour les cétones grasses, si l'on veut augmenter le rendement en cétone mixte, on n'aura qu'à employer un excès d'acide gras. Si par exemple pour 1 molécule d'acide phénylacétique on emploie 3 molécules d'acide gras, le liquide recueilli renferme à peu près parties égales de cétone

grasse symétrique et de cétone mixte aromatique, avec $^1/_{10}$ seulement de dibenzylcétone.

Voici un certain nombre de cétones que j'ai préparées par mon procédé, en marquant d'un astérisque celles qui n'avaient pas encore été signalées:

Acides générateurs	*Cétones qui en dérivent*
Acide benzoïque	
et acétique	acétophénone
et propionique	*propiophénone
et butyrique	*propylphénylcétone
et isobutyrique	isopropylphénylcétone
et isovalérique	isobutylphénylcétone
Acide phénylacétique	dibenzylcétone
et acétique	méthylbenzylcétone
et propionique	éthylbenzylcétone
et butyrique	*propylbenzylcétone
et isobutyrique	*isopropylbenzylcétone
et isovalérique	*isobutylbenzylcétone
Acide phénylpropionique	*diphénylpropione
et acétique	benzylacétone
et propionique	*phénylpropione
et butyrique	*phényloéthylpropylcétone
et isobutyrique	*phényloéthylisopropylcétone
et isovalérique	*phényloéthylisobutylcétone
Acides toluiques o. m. p.	
et acétique	*o. m. p. crésylméthylcétone
et propionique	*o. m. p. crésyléthylcétone
et butyrique	*o. m. p. crésylpropylcétone
et isobutyrique	*o m. p. crésylisopropylcétone
et isovalérique	*o. m. p. crésylisobutylcétone

La plupart de ces cétones, exactement 27 sur 32, n'avaient pas été signalées. Les autres, si l'on en excepte l'acétophénone, se préparaient difficilement et de là vient que la propiophénone et la propylphénylcétone n'étaient connues qu'à l'état liquide, tandis que par catalyse on les obtient très nettement cristallisées et fondant, la première à 14° 5, et la seconde à 8° 5.

Déshydratations par voie humide. Ethers oxydes.

Après les recherches dont il vient d'être question, dans lesquelles la déshydratation des alcools se faisait par voie sèche.

c'est-à-dire en faisant passer les vapeurs alcooliques sur le catalyseur chauffé dans un tube, j'entrepris d'effectuer cette déshydratation par voie humide, en chauffant dans des ballons ou des récipients de grandes dimensions le mélange du catalyseur et de l'alcool à l'état liquide.

J'ai décrit dans les Annales de chimie (septembre-octobre 1922) les détails de ces expériences faites avec divers catalyseurs parmi lesquels le sulfate d'alumine anhydre, le bisulfate de potassium, l'acide sulfurique se recommandèrent tout d'abord à mon attention. Je ne tardai pas à reconnaître que l'acide sulfurique était de beaucoup le plus avantageux et dès lors c'est à peu près exclusivement cet acide, soit concentré, soit dilué, qui m'a servi de catalyseur dans la déshydratation des alcools.

En fait, il y avait longtemps qu'il servait à déshydrater l'alcool éthylique pour arriver à l'éther ordinaire, puisque Valerius Cordus aurait décrit ce mode de fabrication en 1537. Plusieurs chimistes, entre autres Gay-Lussac, Dumas et Boullay, Liebig, avaient cherché à interpréter son mécanisme lorsque parut en 1854 la théorie de Williamson qui semblait le mieux expliquer comment une quantité initiale d'acide sulfurique pouvait éthérifier des masses considérables d'alcool. On sait que d'après cette théorie l'éthérification s'opérerait en deux phases:

1° Formation d'acide éthylsulfurique

$$C^2H^5OH + SO^4H^2 = H^2O + SO^4HC^2H^5$$

2° Réaction de l'alcool sur l'acide éthylsulfurique avec production d'oxyde d'éthyle et retour à l'acide sulfurique qui reproduira la première phase

$$C^2H^5OH + SO^4HC^2H^5 = (C^2H^5)^2O + SO^4H^2$$

Il semble donc que l'acide sulfurique agit comme catalyseur, mais à ce titre il devrait suffire d'en employer une très petite quantité. Or, pour réaliser pratiquement l'éthérification on doit partir d'un mélange qui renferme un poids d'acide sulfurique deux fois plus fort que celui de l'alcool éthylique. C'est ainsi que dans l'industrie on introduit dans chaque éthérificateur 160 kilos d'acide sulfurique à 61° Bé pour 73 kilos d'alcool de densité 0,812.

Pour l'oxyde de méthyle (éther méthylique), Dumas et Péligot qui l'ont découvert, chauffaient un mélange de 1 partie d'alcool méthylique avec 4 parties d'acide sulfurique concentré.

On pouvait supposer qu'il en serait de même avec les autres

alcools et c'est en effet avec de fortes doses d'acide sulfurique qu'en 1885 Norton et Prescott tentèrent leur éthérification. Ils obtinrent difficilement l'éther propylique, mais ils déclarèrent que la méthode échouait avec les alcools butylique et amylique.

Les choses en étaient là lorsque Schröter et Sondag réussirent, en 1908, en éthérifier l'alcool isoamylique en le chauffant avec seulement un dixième d'acide sulfurique. Presque en même temps, avec une proportion encore moindre d'acide, Meisenheimer transformait en éther l'alcool benzylique.

En rapprochant ces derniers résultats de ceux que j'avais obtenus moi-même pour la transformation des alcools en carbures (Comptes-rendus t. 151, 1910) laquelle d'après mes expériences exigeait d'autant moins d'acide sulfurique que le poids moléculaire était plus élevé, j'entrevis la possibilité d'arriver aux éthers oxydes en employant pour chaque alcool des doses convenables d'acide. Je fus donc conduit à déterminer: 1° les quantités d'acide sulfurique concentré ou étendu qui donnaient avec chaque alcool les meilleurs rendements en éther; 2° les températures les plus favorables à l'éthérification.

A la suite de nombreux essais, j'ai dressé le tableau suivant:

Alcools	Température de l'éthérification	Points d'ébullition		Pour 100 vol. d'alcool, vol. de SO^4H^2 employé
		Alcools	Ethers	
Alcools primaires				
Méthylique . .	160—165°	66°	gaz	100
Ethylique . . .	135—140°	78°	35°	100
Propylique . .	120—125°	97°	88°	40
Butylique . . .	123—126°	117°	140°	25
Isobutylique . .	120—122°	108°	122°	20
Isoamylique . .	130—135°	130°	172°	10
Heptylique . .	140—145°	175°	261°	3,5
Cétylique . . .	140—145°	344°	> 300°	< 2
Alcools secondaires				
$Propanol_2$ . . .	98—100°	83°	68°	15
$Butanol_2$ . . .	103—105°	101°	122°	5
$Pentanol_2$ . . .	120—122°	118°	162°	2,5
$Octanol_2$ . . .	135—137°	179°	264°	1,5
Alcool non saturé				
Allylique . . .	100—105°	96°	—	< 10

Je constatai de la sorte que la température d'ébullition de plusieurs alcools est inférieure à la température de leur éthérification. L'addition d'acide sulfurique aura pour effet d'élever le point d'ébullition de l'alcool et cet acide devra, dès lors, être employé en quantité d'autant plus grande que l'alcool bout à une température plus basse et plus éloignée de celle de l'éthérification.

Il suit de là que pour éthérifier les alcools, l'acide sulfurique peut intervenir de deux manières:

1° Comme *agent physique* pour amener les alcools à la température de l'éthérification;

2° comme *catalyseur* pour déterminer cette éthérification.

C'est en quantité minime que l'acide sulfurique joue ce dernier rôle de catalyseur, comme on peut le voir pour les alcools heptylique, cétylique, octanol$_2$, etc., dont les points d'ébullition sont supérieurs à ceux de l'éthérification. Il est dès lors légitime de conclure que pour les alcools méthylique, éthylique, etc., une très petite portion de l'acide sulfurique employé intervient comme catalyseur, le reste servant à atteindre la *température de l'éthérification.*

Il importe de ne pas dépasser cette température sous peine d'exalter l'action catalytique de l'acide sulfurique, qui, au lieu de s'arrêter à l'oxyde, le déshydraterait pour arriver à l'oléfine:

$$C^2H^5OC^2H^5 = H^2O + 2\,C^2H^4$$

Cet effet se produira chaque fois que par suite de leur volatilité l'alcool et l'éther distillent, de telle sorte que l'acide sulfurique, en se concentrant dans le mélange, en élève le point d'ébullition.

On y remédiera en rétablissant la concentration primitive par un écoulement convenable d'alcool, et c'est ainsi que l'on est amené à la fabrication *continue* des éthers provenant d'alcools volatils.

Pour les alcools dont les points d'ébullition sont supérieurs à ceux de l'éthérification, ou en sont très voisins et qui fournissent un éther peu volatil, la concentration du mélange alcool-acide sulfurique reste sensiblement invariable et dispense par conséquent d'y faire couler de l'alcool pour la rétablir.

C'est à ce genre d'éthérification que se prêtent les alcools aromatiques.

En commençant par l'alcool benzylique, j'ai constaté que l'addition de 1 cm^3 d'acide sulfurique à 66°-B^é y détermine déjà un précipité blanc de benzétérène $(C^7H^6)^n$ qui ne se produit pas ou est négligeable avec 2 ou 3 cm^3 de l'hydrate $SO^4H^2 + 2\,H^2O$. —

C'est donc à cet hydrate que je me suis adressé pour préparer l'oxyde de benzyle et les oxydes mixtes suivants:

	P. E. coor.
Oxyde éthylbenzylique . . .	184°
» propylbenzylique . . .	201°
» butylbenzylique . . .	220° 5
» isopropylbenzylique . .	193° 5
» isobutylbenzylique . .	212° 5
» isoamylbenzylique . .	235°

Oléfines

J'ai dit que lorsque, dans la préparation des éthers-oxydes, on augmente la température, c'est le carbure incomplet qui se forme à la place de l'éther. — Il en est de même lorsqu'on augmente la proportion d'acide sulfurique.

En tenant compte de ces conditions, j'ai préparé par l'action catalytique de l'acide sulfurique sur les alcools, les oléfines et les cyclènes que j'avais obtenus par voie sèche. (Cf. Ann. de Chimie, 9e série, t. 18, septembre/octobre 1922 et Ann. Soc. Scientif. Bruxelles, volume jubilaire 1926, p. 67.) Par voie sèche les rendements sont légèrement supérieurs; mais cette supériorité est largement rachetée par la facilité et la rapidité des opérations. Voilà pourquoi, aux Etablissements Poulenc où mes procédés de catalyse sont appliqués sur une large échelle, c'est la méthode par voie humide qui a les préférences.

Mais là où échouait la catalyse par voie sèche, tandis que la catalyse par l'acide sulfurique s'est montrée particulièrement efficace, c'est dans la préparation des éthers-sels, recherches qui ont été faites avec la collaboration de M. Jean Aboulenc.

Ici comme pour les éthers-oxydes, ce n'est pas la première fois que l'acide sulfurique avait été employé, mais on s'était mépris sur le sens de son action.

On savait que l'étherification

$$ROH + AH = RA + H^2O$$

Alcool Acide Ether

était limitée par la réaction inverse

$$RA + H^2O = ROH + AH.$$

D'où la conclusion naturellle qu'en éliminant l'eau par un corps déshydratant, la seconde réaction tendrait à s'annuler.

Pour la plupart des chimistes, l'emploi d'un acide auxiliaire avide d'eau (chlorhydrique ou sulfurique) consistait principalement dans ce rôle de déshydratant que BERTHELOT expliquait par la formation d'hydrates d'acide, la quantité d'eau soustraite au jeu des équilibres éthérés étant d'autant plus grande que la quantité d'acide susceptible de se combiner à l'eau est plus considérable.

BERTHELOT et PÉAN de St-Gilles reconnurent qu'il y avait avantage, dans certains cas, à employer un grand excès d'alcool, et plus tard FISCHER et SPEIER observèrent que cet excès d'alcool était également avantageux, lorsque l'éthérification se fait en présence d'un acide auxiliaire, HCl ou SO^4H^2.

Tel était l'état de la question lorsque j'entrepris avec M. ABOULENC les recherches qui nous ont conduit à une méthode générale de préparation des éthers-sels.

Nous ne tardâmes pas à reconnaître que dans la plupart des cas, l'acide sulfurique agit catalytiquement et c'est ainsi que nous diminuâmes la quantité d'acide sulfurique généralement employée pour la ramener à 2 et 4 % par rapport à l'acide organique.

Cette proportion se montra insuffisante pour certains acides de la série aromatique où nous distinguâmes deux groupes, comme pour la préparation des cétones.

1er groupe. Acides dont le carboxyle CO^2H est séparé du noyau aromatique par des chaînons forméniques tels que les acides:

Phénylacétique . .	$C^6H^5 — CH^2 — CO^2H$
Phénylpropropionique	$C^6H^5 — CH^2 — CH^2 — CO^2H$

Ces acides s'éthérifient comme les acides gras par l'addition de 3 à 4 % de SO^4H^2 au mélange de 1 molécule d'acide aromatique et de 2 molécules d'alcool, avec des rendements atteignant les 88 à 92 % de la théorie.

2e groupe. — Acides dont le carboxyle est uni directement au noyau aromatique tels que les acides

Benzoïque —	$C^6H^5CO^2H$
Toluique	$C^6H^4 \begin{cases} CH^3 \\ CO^2H \end{cases}$
Salicylique	$C^6H^4 \begin{cases} OH \\ CO^2H \end{cases}$
Phtalique	$C^6H^4 \begin{cases} CO^2H \\ CO^2H \end{cases}$

Pour éthérifier ces éthers il nous a fallu employer non plus 3 à 4 % de SO^4H^2 — mais 40 à 50 %.

Ici, par conséquent, l'acide sulfurique n'agit plus simplement à la façon d'un catalyseur, et l'on est amené à trouver avec Berthelot, dans ses combinaisons hydratées, la cause principale de son action.

Par l'emploi de l'acide sulfurique comme catalyseur nous avons pu, M. Aboulenc et moi, préparer près de deux cents éthers-sels dont un grand nombre n'était pas connu et qui se fabriquent aujourd'hui industriellement aux établissements Poulenc.

Le mécanisme de cette activité catalytique de SO^4H^2 peut s'interpréter pour les éthers-sels comme pour les éthers-oxydes:

1° Formation avec l'alcool d'un éther sulfurique acide

$$ROH + SO^4H^2 = H^2O + SO^4\,HR.$$

Alcool

2° Réaction de cet éther sulfurique sur l'acide organique avec production de l'éther-sel et régénération de l'acide sulfurique

$$SO^4HR + AH = AR + SO^4H^2.$$

Acide Ether-sel

Il y aurait donc formation du composé temporaire SO^4HR qui échangerait ensuite R contre l'hydrogène de l'acide organique, tandis qu'en présence d'un alcool il échange R contre l'hydrogène de l'alcool ROH

$$SO^4HR + ROH = ROR + SO^4H^2.$$

A température élevée ROR se détruit et on a l'oléfine:

$$ROR = H^2O + 2\,(R - H).$$

On peut concevoir des combinaisons du même genre dans la déshydratation des alcools et des acides par les oxydes métalliques.

Par exemple avec l'alumine et l'éthanol on aurait:

$$Al^2O^3 + C^2H^5OH = Al^2O^2 \begin{cases} OC^2H^5 \\ OH \end{cases}$$

Aluminate acide d'éthyle

Et puis $Al^2O^2 \begin{cases} OC^2H^5 \\ OH \end{cases} = C^2H^4 + H^2O + Al^2O^3.$

Avec la thorine et l'acide acétique on aurait:

$$ThO^2 + 2\,CH^3CO^2H = Th(OH)^2 \begin{cases} CO^2CH^3 \\ CO^2CH^3 \end{cases}$$

Acetate basique de thorium

Et puis $Th(OH)^2 \begin{cases} CO^2CH^3 \\ CO^2CH^3 \end{cases} = CH^3-CO-CH^3 + CO^2 + H^2O + ThO^2$

Propanone

De même pour les hydrogénations et les déshydrogénations on pourrait supposer des hydrures temporaires avec les métaux divisés nickel et cuivre; pour les oxydations avec l'argent divisé, un oxyde instable d'argent; avec l'oxyde de zinc, un peroxyde instable de zinc, etc.

Cette conception de catalyseurs servant pour ainsi dire de navette par une ou plusieurs combinaisons intermédiaires entre les deux éléments du produit final a été fortement critiquée par Ostwald, parce que, dit-il, les produits intermédiaires sont indécevables. Mais est-ce bien sûr que l'existence de ces produits intermédiaires n'ait pas été constatée? Dans une remarquable conférence faite en 1923 au Collège de France, mon savant collègue M. Job cite un certain nombre de ces composés éphémères, le peroxyde de cérium entre autres dont la formation transitoire expliquerait son rôle de catalyseur oxydant. Encore faut-il tenir compte dans cette oxydation de la *forme mobile de l'oxygène.* Dans la catalyse en général un rôle important serait dévolu à l'*énergie interne des molécules actives,* au *complément critique d'énergie,* à la *sensibilité spécifique,* à la *radiation,* à l'*influence des chocs moléculaires.* Il s'est fondé en Amérique un comité permanent pour étudier les diverses faces du problème catalytique, et ceux qui voudront se rendre compte de la complexité qui pourra résulter de cette étude n'auront qu'à lire (Bulletin d'octobre 1923 de la Société chimique) la conférence faite à Cambridge, par Rideal, devant le congrès de chimie pure et appliquée.

J'ignore si pratiquement la catalyse profitera beaucoup de ce comité et de ces recherches spéculatives.

Jusqu'à plus ample informé je m'en tiens à mon hypothèse simpliste des combinaisons temporaires du catalyseur, sans y attacher plus d'importance qu'elle ne mérite. Elle se présente comme une formule commode à laquelle s'adaptent les phénomènes de catalyse, et de plus, elle s'accorde avec les faits biologiques désignés sous le nom de fermentations.

Schützenberger définit le ferment « un composé organique qui ne fournit rien de sa propre substance aux produits de la réaction fermentescible, ceux-ci étant formés uniquement aux dépens de la matière fermentescible, d'où il résulte qu'une quantité relativement très petite de ferment peut opérer la transformation d'une quantité considérable de matière ».

C'est exactement la définition du catalyseur minéral, c'est aussi son mode de fonctionnement.

Considérons l'un de ces ferments, *le mycoderma aceti* qui transforme l'alcool en acide acétique. Son action consiste à transporter l'oxygène de l'air sur l'alcool, comme le font les catalyseurs minéraux, noir de platine, oxyde d'argent, oxyde de zinc.

Dans tous ces cas on aura :

$$CH^3CH^2OH + O^2 = CH^3CO^2H + H^2O$$

à moins que l'action s'arrête à l'aldéhyde

$$CH^3CH^2OH + O = CH^3CHO + H^2O$$

ou qu'elle dépasse l'acide acétique,

$$CH^3CH^2OH + 3\ O^2 = 2\ CO^2 + 3\ H^2O$$

Ce dernier effet se produit avec le *mycoderma vini* lorsqu'il agit à la surface de l'alcool et toujours plus ou moins avec les catalyseurs minéraux.

Ce sont là des ferments oxydants. — Mais il y a les ferments réducteurs, les ferments hydratants, les ferments de dédoublement sur lesquels je n'ai pas à insister et que je signale seulement pour indiquer leur parenté avec les catalyseurs minéraux qui produisent les mêmes effets.

Ces ferments perdent toute leur activité par le fait de certaines substances qui sont à leur égard de véritables poisons, de même que les catalyseurs minéraux sont empoisonnés par le chlore, le brome, les hydrures de soufre, etc., qui détruisent leur efficacité catalytique.

Il y a toutefois cette différence entre les catalyseurs minéraux et les ferments figurés dont il est ici question, c'est que les premiers conservent toujours la même masse, tandis que les ferments figurés, en leur qualité d'organismes vivants, se multiplient, non pas précisément aux dépens de la matière fermentescible, mais de certaines substances qui l'accompagnent, développement nécessaire, car s'il est entravé par une cause quelconque, la fermentation diminue et s'arrête.

Cette multiplication ne se rencontre pas dans les ferments non figurés ou ferments solubles qui, à ce titre, se rapprochent davantage des catalyseurs minéraux et principalement de l'un d'eux, l'acide sulfurique, soluble comme ces ferments et qui, dans beaucoup de cas, peut les remplacer.

Ces ferments non figurés que l'on désigne sous le nom géné-

rique de diastases, d'enzymes ou de zymases sont extrêmement nombreux et ont été dans ces dernières années l'objet d'études approfondies. — Leur rôle paraît se borner, dans la plupart des cas, à rendre la substance alimentaire assimilable, par une transformation des plus simples qui consiste dans la fixation d'une ou de plusieurs molécules d'eau. Leur fonction de catalyseur se déduit de la disproportion entre la petite quantité de diastase et la masse énorme de matière qu'elle est capable de transformer. On sait en effet qu'une faible proportion de sucrase ou invertine est capable de convertir le sucre de canne en glucose; qu'il faut très peu d'amylase pour saccharifier l'amidon, etc.

Ces diastases peuvent être remplacées par l'acide sulfurique, dans la transformation, par exemple, de la matière amylacée en sucre, ce qui conduit à supposer qu'elles réagissent en vertu d'un mécanisme semblable à celui de l'acide.

D'après notre interprétation, l'acide formerait avec la matière amylacée une combinaison passagère, sorte d'éther que l'eau dédoublerait dans une seconde phase en produisant du sucre et régénérant l'acide. Or, c'est précisément de cette manière qu'agirait l'amylase et d'une façon générale les diastases, ainsi que Würtz en a donné la démonstration. L'illustre chimiste opérait avec la papaïne qui transforme les matières albuminoïdes en peptones. — Plongées dans une solution de papaïne, les matières albuminoïdes fixent cette diastase et peuvent être lavées à l'eau froide sans la céder. Mais à 40° elles se transforment en peptones et la papaïne est régénérée. — La pepsine se comporte comme la papaïne.

Voilà donc ici prises sur le fait, à propos des diastases, des combinaisons passagères qui expliquent leur rôle catalytique. Comme ce rôle est semblable à celui de l'acide sulfurique et des catalyseurs minéraux, on est par le fait même autorisé à appliquer à ces derniers la même interprétation.

Les ferments figurés et non figurés ont pris une telle importance qu'ils auraient réclamé une large place dans une conférence sur la catalyse. Mais ce sujet a été traité par des compétences très spéciales qui me dispensent d'abuser plus longtemps de votre bienveillante attention. Je me suis donc borné à indiquer comment le domaine de la catalyse s'était considérablement agrandi par les fermentations, science nouvelle créée et établie par le savant d'immortelle mémoire, la gloire et le bienfaiteur de l'humanité, par notre grand Pasteur.

Molekulare Kräfte und ihre Deutung

von

P. Debye (Zürich)

I.

Die Zeiten, in denen es gestattet war, in den Theorien mit Molekülen wie mit harten Billardkugeln zu spielen, sind vorbei. Selbst die Verfeinerung dieser Vorstellung durch Einführung von Kraftgesetzen, die nach Analogie der Newtonschen Gravitation etwa durch eine Potenz der Entfernung ausdrückbar sind, ist überlebt. Wir glauben heute zu viel über den Aufbau der Atome zu wissen, um befriedigt sein zu können, ohne dass wir den Versuch unternommen hätten, jene Kenntnisse in organischen Zusammenhang zu bringen mit unseren Erfahrungen über die Molekularkräfte.

Das erste, was wir über die Atome wissen, ist, dass sie elektrische Systeme sind, aufgebaut aus Ladungen, die nicht beliebig teilbar, sondern ganzzahlige Vielfache einer Elementarladung, derjenigen des Elektrons sind. Für die Kraft zwischen zwei makroskopischen elektrischen Ladungen hat Coulomb vor einem Jahrhundert experimentell das Gesetz gefunden, wonach sie sich gegenseitig anziehen oder abstossen, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung und proportional dem Produkte ihrer Ladungsmengen. Auf diesem Gesetze ist das übliche elektrostatische Maßsystem aufgebaut; es hat sich anderseits bis jetzt bewährt bis auf Abstände, welche etwa 10,000 mal kleiner sind als der Durchmesser eines Atoms.

Bedeutend weniger gut sind wir unterrichtet über die Bewegungsgesetze der Ladungen und über die Verknüpfung jener Bewegungen mit den elektromagnetischen Feldern, die wir als Strahlung empfinden. Zwar legen die grossartigen Erfolge, z. B. in der Deutung der Spektren Zeugnis davon ab, dass die Einführung des Wirkungsquantums durch Planck und seine Verknüpfung mit dem Rutherfordschen Atombilde durch Bohr notwendige Schritte sind, die

uns zu einer neuen Mechanik führen werden. Aber die wirklichen Gesetze dieser Atommechanik haben wir noch nicht vollkommen erfasst.

So mag es trotz allem verfrüht erscheinen, Betrachtungen über Molekularkräfte anzustellen, die nichts anderes sein können als Betrachtungen über die Felder, die von einem Molekül ausstrahlend ein zweites erreichen. Aber wenn auch bei solchen Überlegungen nicht die letzte Wahrheit erreicht wird, etwa dadurch, dass mit der klassischen Mechanik operiert wird, wo wir doch wissen, dass wir eine neue Atommechanik verwenden sollten, so sind doch die Resultate deshalb nicht bedeutungslos. Genau so wie wir wissen, dass die klassischen mechanischen Gesetze verbesserungsbedürftig sind, ebenso gut wissen wir, dass sie nicht ganz falsch sind. Sie stellen vielmehr einen Grenzfall der richtigen Gesetze dar und von dem was wir mit ihrer Hilfe erschliessen, werden wir erwarten dürfen, dass es eine gewisse Ähnlichkeit behalten haben wird mit den Naturgesetzen, oder anders ausgedrückt, dass eine Korrespondenz zwischen den errechneten und den wirklichen Gesetzen vorhanden sein wird. Überlegungen dieser Art wurden von Bohr zum „Korrespondenzprinzip“ erhoben und mit Erfolg verwendet. Deshalb scheint es durchaus berechtigt, zunächst mit Hilfe der klassischen Gesetze vorzugehen. Manches, was auf diesem Wege eingeführt werden muss, wird auch später seine Berechtigung behalten. Anderes wird durch Neues zu ersetzen sein. Aber gerade dort, wo sich die deutlichsten Widersprüche mit dem wirklichen Naturverhalten zeigen, wird der Punkt sein, wo man mit der besten Hoffnung an die Vervollständigung der Gesetze der Atommechanik herantreten darf.

II.

Man wird von vornherein erwarten, dass man die elektrische Natur der Molekularkräfte in jenen Fällen am leichtesten erkennen wird, wo die Atome in Form von Ionen existieren und deshalb ihr Feld, entsprechend dem Coulombschen Gesetze, mit wachsender Entfernung nur wenig geschwächt, ausbreiten können. Die kleinste Ladung, die vorkommen kann, die eines einwertigen Ions oder des Elektrons, ist nach Millikan im elektrostatischen Masssystem $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten. Es ist von Bedeutung, sich klar zu machen, dass diese Ladung ausserordentlich

gross ist. Nimmt man z. B. 1 Mol., d. h. 58 Gramm Steinsalz (NaCl), so ist darin jedes Na-Teilchen als einwertiges, positives Ion und jedes Cl-Teilchen als einwertiges negatives Ion vorhanden. Man denke sich nun die Na-Ionen, im ganzen 23 Gramm, an den Nordpol der Erde, und die Cl-Ionen, im ganzen 35 Gramm, an den Südpol befördert. Es werden sich dann die beiden Teile gemäss dem Coulombschen Gesetze anziehen, und trotz ihrer grossen Entfernung berechnet sich für die gegenseitige Anziehungskraft der Betrag von 52,000 Kilogramm.

Man hat früher gelegentlich für die Erklärung der Molekularkräfte die allgemeine Gravitation heranziehen wollen. Indessen sieht man sofort, dass diese ungeheuer klein ist, verglichen mit den elektrischen Kräften. Beide Kräfte nehmen im einfachsten Falle umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ab, in jeder Entfernung stehen sie also im selben Verhältnis. Für die Wirkungen zwischen einem Na- und einem Cl-Ion findet man zahlenmässig, dass die elektrische Kraft 10^{33} mal so gross ist als die Gravitationskraft. Um die Bedeutung dieser Zehnerpotenz besser zu erfassen, nehme man eine Länge von der Grössenordnung eines Atomdurchmessers (10^{-8} cm), die also etwa 5000 mal kleiner ist, als die mittlere Wellenlänge des sichtbaren Lichtes und reihe nun 10^{33} solche Atomdurchmesser aneinander. Man bekommt dann eine Strecke, zu deren Durchlaufung das Licht 10 Millionen Jahre brauchen würde, obwohl es in der Sekunde 300,000 Kilometer zurücklegt.

Wir können uns nun fragen, ob die soeben berechneten elektrischen Kräfte von der richtigen Grössenordnung sind, um die tatsächliche Stärke des molekularen Zusammenhalts etwa eines Steinsalzkristalles zu erklären. Ehe man aber diese Berechnung macht, muss man sicher sein, dass wirklich auch im festen Steinsalz die Bausteine von den Ionen Na und Cl gebildet werden. Diese Sicherheit hat man nun heute in der Tat. Über die Anordnung der Einzelteilchen (jedes Na-Ion umgeben von 6 Cl-Ionen und jedes Cl-Ion umgeben von 6 Na-Ionen) haben uns die Beobachtungen von Bragg über die Reflexion von Röntgenstrahlen im Sinne der Laueschen Interferenzidee unterrichtet. Nicht ein hypothetisches Molekul NaCl, sondern die einzelnen Atome sind demnach die Bausteine. Dass ferner die Atome als Ionen vorkommen, erhellt am einfachsten aus der Tatsache, dass Steinsalz imstande ist, die

Rubensschen Reststrahlen zu erzeugen, d. h. dass dieses Salz im Ultraroten ein Gebiet sehr starker selektiver Reflexion aufweist. In der Tat versteht man, dass das elektromagnetische Feld der Strahlung an dem Kristall angreifen kann, wenn die Einzelteilchen geladen sind, und begreift die Existenz einer ausgezeichneten Frequenz als die Eigenfrequenz des positiven Na-Gitters gegen das eingeschobene negative Cl-Gitter, ganz so, wie das Madelung noch zeitlich vor den Braggschen Beobachtungen geschildert hat.

Aus den Röntgenstrahlenbeobachtungen kennt man den Abstand von Na zu Cl im Kristall, die Ladung jedes dieser Ionen ist die eines Elektrons, man kann also die potentielle elektrische Energie etwa eines Mols (58 Gramm) Steinsalz berechnen. Damit ist allerdings noch nicht alles getan, denn wäre nur diese Energie vorhanden, dann würde kein Gleichgewicht in einem definierten endlichen Abstande möglich sein. Born, der diese Rechnung zuerst ausführte, sieht sich deshalb gezwungen, noch abstossende Zusatzkräfte zwischen den Ionen einzuführen, deren Ursprung dunkel bleibt, deren Existenz indessen nicht zu bezweifeln ist. Er setzt sie proportional einer Potenz der Entfernung und bemisst ihre Stärke, so dass der tatsächlich beobachtete Abstand resultiert, während der Exponent der Potenz durch die Forderung festgelegt ist, dass das Modell ausserdem den Betrag der wirklichen Kompressibilität wiedergeben kann. Zum Glück erweist sich dieser Exponent relativ gross, entsprechend einem sehr steilen, an die „harten Kugeln“ erinnernden Anstieg der Abstossungskräfte bei der gegenseitigen Annäherung. Infolgedessen spielt die zu diesen Kräften gehörige Energie nur eine untergeordnete Rolle und ihre Fehler können das Hauptresultat nur wenig beeinflussen.

Die Energie eines Mols NaCl in Kristallform lässt sich durch Kombination von Beobachtungen über Bildungs- und Sublimationswärmen, sowie der Ionisationsenergie experimentell bestimmen. Sie ergibt sich zu 180 kg Cal. Demnach müsste man ein Stück Steinsalz ungefähr aus einer Höhe von 2000 km (den zwanzigsten Teil des Erdumfanges) auf die Erde fallen lassen, um ihm an der Erdoberfläche, wo es mit einer Geschwindigkeit von 5 km per Sekunde ankommt, eine Energie zu erteilen, gross genug, um das Kristallstück in seine einzelnen Ionen aufzulösen. Born zeigt, dass diese Energie übereinstimmt mit der errechneten.

Der experimentelle Wert für die Energie eines solchen Kri-

stallgebildes ist immerhin nur auf Umwegen, durch Kombination mehrerer Beobachtungen zu erzielen. Es scheint viel näher zu liegen, wenn man frägt, ob es denn nicht möglich sein sollte, ein Mass für die Kristallkräfte zu bekommen durch Ausführung eines einfachen Zerreissversuches. Man kann in der Tat, wie es ZWICKY gemacht hat, berechnen, wie sich die Ionenebenen unter seitlicher Kontraktion von einander entfernen, wenn man Zugkräfte in Richtung eines kristallographischen Ase an ein Steinsalzstück angreifen lässt. Man findet dann eine Kraft, welche mit zunehmender Dehnung immer langsamer anwächst, um bei einem bestimmten Werte der Verlängerung ein Maximum zu erreichen. Man wird offenbar diesen Maximalwert mit der Zerreissfestigkeit identifizieren wollen. Tut man das, so ergibt sich theoretisch, dass man an einem Stäbchen vom Querschnitt 1 mm^2 mit einer Kraft von 300 kg ziehen müsste, um es zu zerreissen. Das Experiment ist weit entfernt davon, diese Zahl zu bestätigen, das Stäbchen reisst schon, wenigstens bei der üblichen Anordnung, wenn man 0,5 kg anhängt. Soll man diesen Widerspruch als ein Beweis gegen die Richtigkeit der Grundvorstellungen ansehen? Vieles weist darauf hin, dass man besser daran tut, die Erklärung darin zu suchen, dass ein grösseres Kristallstück in den allermeisten Fällen wesentlich abweicht von dem Bilde des über seine ganze Erstreckung mathematisch regelmässigen Gitters und vielmehr einen Bau aufweist, den DARWIN mit dem sofort einleuchtenden Namen „Mosaikstruktur" benannt hat. Ist dem so, so ist keine Gewähr mehr dafür vorhanden, dass das Resultat der Rechnung mit der Wirklichkeit übereinstimmen wird. Das besonders technisch interessante Problem der Materialfestigkeit ist damit theoretisch als eine sehr schwierige Frage gekennzeichnet. Und obwohl ein endgültiges Urteil heute noch nicht erreicht ist, darf doch darauf hingewiesen werden, dass JOFFE unter besondern Umständen 80 % der theoretischen Zerreissfestigkeit praktisch erhalten hat bei Steinsalz, so dass ein triftiger Grund zur Beunruhigung nicht vorliegen dürfte.

III.

Ein grosses Gebiet, auf dem die Auffassung der Molekularkräfte als elektrische zu einem tieferen Verständnis zu führen scheint, ist das der Elektrolytlösungen. Das klassische Gebäude der Lösungstheorie wurde aufgebaut auf zwei Grundgesetzen. Die

richtige Interpretation des VAN'T HOFFschen Gesetzes des osmotischen Druckes, wonach dieser und zugleich die verwandten Erscheinungen der Gefrierpunktserniedrigung und der Siedepunktserhöhung der Zahl der gelösten Teilchen proportional sind, ohne dass ihre individuellen Eigenschaften eine Rolle spielen, führt ARRHENIUS zu der Auffassung der Existenz freier Ionen in der Lösung. Die Zahl dieser Ionen, der Dissoziationsgrad, wird festgelegt durch das zweite Grundgesetz, das Massenwirkungsgesetz von GULDBERG-WAAGE, welches das Gleichgewicht zwischen undissoziierten und dissoziierten Molekülen quantitativ regelt und hier speziell die Form des OSTWALDschen Verdünnungsgesetzes annimmt. So gross war der Erfolg dieser Gesetze, dass man erst ganz allmählich dazu kam, die Fälle genauer zu betrachten, in denen sie offenbar versagen, obwohl die Schwierigkeiten an sich schon frühzeitig erkannt wurden. Diejenigen Salze, welche im Sinne von ARRHENIUS weitgehend in Ionen gespalten sind, fügen sich nicht den quantitativen Forderungen der Grundgesetze, ihr Verhalten wurde als die Anomalie der starken Elektrolyte registriert. Zu dieser Klasse gehören die meisten der gewöhnlichen anorganischen Salze.

Angesichts dieser Tatsache wird man versuchen, die notwendigen Grundlagen festzustellen, aus denen die Gültigkeit der klassischen Grundgesetze erschlossen werden kann. Man bemerkt dann sofort ihre Analogie mit den Gesetzen der idealen Gase und gleichzeitig wird klar, dass sie theoretisch nur so lange gelten können, als man berechtigt ist, die Molekularkräfte als nebensächlich überhaupt zu vernachlässigen. Bei der Diskussion über den Energieinhalt von Kristallen, die wie Steinsalz aus Ionen aufgebaut sind, sahen wir, wie stark die elektrischen Kräfte sind, welche zwischen Ionen entsprechend dem COULOMBschen Gesetze auftreten. Bedenkt man dann, dass die auffälligen Abweichungen der klassischen Gesetze gerade in den Fällen auftreten, wo man auf eine sehr weitgehende Dissoziation in Ionen zu schliessen hat, so liegt es nahe, an einen Zusammenhang zu denken zwischen der Anomalie der starken Elektrolyte einerseits und die Korrekturen der Grundgesetze, welche die Berücksichtigung der Ionenkräfte anderseits herbeiführen muss. In dieser Richtung bewegen sich schon einige vor vielen Jahren veröffentlichte Gedankengänge von VAN LAAR.

Aber auch ohne das Problem von diesem speziellen Gesichtspunkte anzugreifen, kann man sich zunächst, in Kontakt mit den allgemeinen Regeln der Thermodynamik, überlegen, in welcher Weise man wohl das Verhalten insbesondere der starken Elektrolyte praktisch fassen könnte. Darin, dass es sich um eine praktische Fassung handelt, kommt gleich zum Ausdrucke, dass das Resultat nicht eindeutig sein kann und es viele Möglichkeiten geben wird, unter denen man dann mehr aus Gefühlsgründen eine als praktisch bevorzugen wird. Lewis hat das getan durch Einführung des thermodynamisch begründeten Begriffes der Aktivität.

Betrachtet man z. B. das Gleichgewicht zwischen NaCl-Molekülen und den Ionen Na und Cl, so ist der einfachste Ansatz der von Guldberg-Waage, wonach in der Zeiteinheit die Anzahl zerfallende Moleküle proportional ihrer Zahl sein wird, während gleichzeitig die Anzahl Moleküle, welche sich bildet, proportional gesetzt wird dem Produkte der Zahlen vorhandener Na-, bzw. Cl-Ionen. Die Thermodynamik zeigt indessen, dass im allgemeinen Falle bei Anwesenheit von Molekularkräften die Zahlen oder Konzentrationen selbst zu ersetzen sind durch kompliziertere Funktionen derselben, welche man dann Aktivitäten nennen kann und die so eingeführt sind, dass das Massenwirkungsgesetz thermodynamisch richtig ist, wenn nur die Konzentrationen durch die Aktivitäten ersetzt werden. Das Verhältnis Aktivität zu Konzentration kann man noch mit dem Namen Aktivitätskoeffizient belegen und nun versuchen, aus den experimentellen Ergebnissen auf die Abhängigkeit der Aktivitätskoeffizienten der einzelnen Ionen von den innern und äussern Bedingungen der Lösung zu schliessen.

Diesen Weg haben insbesondere Brönstedt und Lewis konsequent verfolgt und letzterer hat in 1921 zusammen mit Randall die Erfahrung zusammengefasst in einer Regel, welche er die Hypothese der „independent activity Coefficients of the ions“ nennt. Nach dieser Regel soll für den Aktivitätskoeffizient eines Ions nicht die Ionenkonzentration der Lösung selber, sondern vielmehr eine fiktive Konzentration die sogenannte Ionenstärke massgebend sein, welche in ihrer Bildung auf Konzentration und Wertigkeit gleichzeitig Rücksicht nimmt. Das geschieht, indem man zunächst jede Ionenkonzentration multipliziert mit dem Quadrate der Wertigkeit des betreffenden Ions und dann erst die Produkte zur Bildung der Ionenstärke der Lösung addiert. Offenbar wird somit der Einfluss

der verschiedenen Ionen mit einem um so grösseren Gewicht versehen, je höher ihre Wertigkeit, d. h. ihre elektrische Ladung ist.

So sieht man in dieser Regel in klarerer Form erneut einen Hinweis auf die Wirksamkeit der Ionenkräfte hervortreten, denn diese sind entsprechend dem Coulombschen Gesetze den Ladungen und damit den Wertigkeiten proportional. In der Tat führt eine eingehendere Betrachtung der Wirksamkeit der Ionenkräfte auf eine Begründung der Lewisschen Regel, und zwar liegt bemerkenswerterweise der Fall historisch so, dass das theoretische Resultat ohne vorherige Kenntnis jener Regel erreicht wurde. Nimmt man z. B. eine NaCl-Lösung und betrachtet etwa ein Na-Ion und seine Umgebung. Es wird dann eben infolge der Coulombschen Kräfte wahrscheinlicher sein, dass man in einem irgendwie herausgegriffenen Abstande ein umgekehrt geladenes Cl-Ion als ein gleichgeladenes Na-Ion findet. Und trotzdem die Regelmässigkeit in der Anordnung, welche sich herstellen möchte und die man mit der Anordnung in einem Steinsalzkristall vergleichen möge, infolge der Temperaturbewegung nicht zustande kommen kann, so wird doch etwas von dieser Ordnung übrig bleiben. Milner war der erste, welcher diese Verhältnisse quantitativ zu fassen suchte. Man wird behaupten können, dass jedes Ion im Mittel von einem Schwarm umgeben sein wird, in dem die entgegengesetzt geladenen um so stärker überwiegen, je näher man an das Ion herangeht. Unter vereinfachenden Voraussetzungen gelingt es nun zu zeigen, dass die mittlere Dichte der Überschussladung im Schwarm mit der Entfernung von Ion so abnimmt, dass für diese Abnahme eine Strecke massgebend ist, die nur von der oben eingeführten Ionenstärke abhängt, sofern die Kräfte zwischen den Ionen dem Coulombschen Gesetze genügen. Dieses führt dann ohne weiteres zu einer elektrostatischen Begründung der Lewisschen Regel.

Zugleich mit der Erklärung der obigen Gesetzmässigkeiten, erhält man die Erklärung für das ebenfalls merkwürdige Verhalten, welches die Leitfähigkeit der starken Elektrolyte kennzeichnet und das schon von Kohlrausch auf eine Form gebracht wurde, von der er feststellen musste, dass sie mit dem klassischen Massenwirkungsgesetze keinen Zusammenhang haben konnte.

Die Behandlung der starken Elektrolyte im obigen Sinne ist verhältnismässig neueren Datums. Kein Wunder, dass sich noch Meinungsverschiedenheiten geltend machen. Während Bjerrum

z. B. selbst noch vor der Ausarbeitung einer Theorie zur Ansicht kam, dass die starken Elektrolyte auch in grössern Konzentrationen nahezu vollständig in Ionen dissoziiert seien und der gewöhnlich angegebene Dissoziationsgrad von weniger als 100 % nur durch die Wirkung der Ionenkräfte vorgetäuscht sei, findet NERNST in neuester Zeit bei Beobachtungen über Verdünnungswärmen ein individuelles Verhalten der Ionen, welches nicht der LEWISschen Regel entspricht, so dass er an der Bedeutsamkeit der COULOMBschen Kräfte zweifelt. Weitere Versuche, besonders in grössern Verdünnungen, werden uns hoffentlich bald darüber belehren, ob die Anomalie der starken Elektrolyte in der Tat neuerdings wieder zu der Gruppe der unerklärten Erscheinungen zurückversetzt werden muss.

Es spricht indessen vieles dafür, dass man in der Elektrolyttheorie nicht ohne Berücksichtigung der Ionenkräfte auskommen wird, ebenso wenig, als es in der Gastheorie etwa möglich wäre, die Erscheinungen zu verstehen mit einem Dissoziationsansatz, allein ohne Beachtung der VAN DER WAALSschen Kräfte. Hier wie dort werden die beiden Gesichtspunkte gleichzeitig berücksichtigt werden müssen.

IV.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich alle auf Atome oder Moleküle, welche durch Verlust oder Aufnahme eines oder mehrerer Elektronen zu Ionen geworden sind. Man könnte den Einwand erheben, dass hier die Existenz COULOMBscher Kräfte selbstverständlich ist und das, was gewöhnlich als Molekularkraft bezeichnet wird, einfach durch die weit überwiegende Wirkung elektrostatischer Ladungskräfte überdeckt ist. Es ist deshalb unerlässlich, die Grundidee auch dort zu verfolgen, wo es sich um die gegenseitigen Wirkungen ungeladener Gebilde handelt.

Frägt man sich dementsprechend, wie man mit Hilfe elektrischer Ladungen ein neutrales Gebilde herstellen kann, so drängt sich als einfachste Möglichkeit das Bild eines Dipols auf: Eine positive und eine gleich grosse negative Ladung in gewissem Abstande von einander fixiert. Das Feld, welches von einer solchen Kombination ausstrahlt, gleicht dem Felde eines Magneten. Seine Intensität nimmt proportional der dritten Potenz der Entfernung ab, eine Tatsache, welcher der verbesserten innern Absättigung entspricht, die durch die Kombination zweier Ladungen erreicht

wird. Stellt man die Überlegung in dieser primitiven Weise dar, so muss der Eindruck der Willkür sich aufdrängen. Dem ist aber trotzdem nicht so.

Hat man irgend ein statisches System von Ladungen, so wird das Potential desselben um so verwickelter werden, je näher man an das System herankommt. Der Mathematiker, der die Absicht hat, jenes Potential durch eine Formel darzustellen, wird deshalb eine Reihenentwicklung wählen, welche fortschreitet nach negativen Potenzen der Entfernung von irgend einem festgewählten Punkte, am besten im Innern des Systems. Tut man das, so bekommt man in der Potentialdarstellung ein erstes dem reziproken Abstande proportionales Glied, welches als Vektor die algebraische Summe aller Ladungen aufweist. Das zweite Glied ist dem reziproken Quadrat jenes Abstandes proportional und erfordert zu seiner quantitativen Festlegung die Definition eines Vektors, des Momentenvektors, der bildlich durch zwei entgegengesetzt gleiche Ladungen im endlichen Abstande dargestellt werden kann und dessen Grösse durch das Produkt Ladung mal Abstand gemessen werden muss. Geht man zum dritten Gliede über, so ist dieses der dritten Potenz des reziproken Abstandes proportional und ist quantitativ gekennzeichnet durch Grössen von der Dimension Ladung mal Quadrat eines Abstandes, die man als Quadrupolmomente oder als elektrische Trägheitsmomente des Ladungssystems bezeichnet. In dieser Weise kann man die Reihe fortsetzen, jedes weitere Glied erfordert die Einführung von Momenten höherer Ordnung.

Vom Standpunkte dieser Reihenentwicklung aus gesehen, ist demnach die Einführung von Molekülen, die ähnlich wie Magnete wirken und ihre Kennzeichnung durch elektrische Dipolmomente durchaus natürlich. Selbstverständlich wird nicht jedes neutrale Gebilde eine Dissymmetrie der Ladungsverteilung aufweisen, wie sie dem Dipolcharakter entspricht. Es kann auch die innere Symmetrie grösser sein. Dann wird das Dipolmoment Null sein und das System wird sein Feld so konzentrieren, dass es proportional der vierten Potenz der Entfernung an Intensität abnimmt, während zu seiner Kennzeichnung nun mehr die elektrischen Trägheitsmomente dienen werden. Entsprechend der Reihenentwicklung kann das Einteilungsverfahren fortgesetzt werden. So verschwindet z. B. das Feld wieder, wenn die drei elektrischen Hauptträgheitsmomente

einander gleich sind, dann wird das Reihenglied wichtig, welches der vierten Potenz der reziproken Entfernung proportional ist, usw.

Für den Physiker handelt es sich nun zunächst darum, die Existenz von Dipolmolekülen experimentell nachzuweisen. Bringt man ein Ion in ein homogenes elektrisches Feld, so wird darauf eine Kraft ausgeübt und es entsteht unter geeigneten Umständen der elektrische Strom. Ein Dipolmolekül dagegen erfährt in einem solchen Felde im ganzen keine einseitig gerichtete Kraft; nur ein Drehmoment wird ausgeübt, welches bestrebt ist, das Molekül so zu drehen, dass seine Momentenachse parallel dem Felde zu liegen kommt, ähnlich wie das mit einem Magnetstäbchen im Erdfelde geschieht. Unter Einwirkung eines homogenen Feldes, etwa zwischen den Platten eines Kondensators, werden also die Moleküle einer Flüssigkeit oder eines Gases sich, sofern sie Dipolcharakter haben, orientieren und infolgedessen der Volumeneinheit ein elektrisches Moment erteilen. Durch die Schaffung dieses Momentes aber tritt eine Rückwirkung auf die Platten ein und es wird nun nötig sein, mehr Ladung auf die Platten zu bringen, zur Erreichung einer gegebenen Potentialdifferenz als für den Fall, dass die Kondensatorplatten einander im Vakuum gegenüberstehen. Das Mass der Vermehrung der Ladung wird praktisch seit FARADAY durch Angabe der Dielektrizitätskonstante gekennzeichnet.

Wir wissen, dass die Dielektrizitätskonstante für alle Körper ohne Ausnahme grösser als 1 ist. Alle Körper nehmen also unter Einwirkung eines elektrischen Feldes ein Moment an, das positiv ist. Sollen wir nun daraus schliessen, dass dieses Moment in allen Fällen durch Orientierung der Moleküle zustande kommt und demnach alle Moleküle Dipolcharakter haben? In der Tat ist dieser Schluss unberechtigt. Ebenso wie eine leitende Kugel in einem Felde ein Moment annimmt, dadurch dass die frei beweglichen Ladungen sich verschieben, kann ein Molekül ein Moment erhalten, dadurch dass es quasi elastisch deformiert wird und seine Ladungen kleine Verschiebungen erfahren. Diese Art der Influenz ist sogar die einzige, welche lange Zeit allein in Betracht gezogen wurde. Es genügt also nicht, die Dielektrizitätskonstante allein zu messen; es muss vielmehr nach einer Eigenschaft dieser Konstante gesucht werden, die wesentlich mit dem Dipolcharakter verknüpft ist.

Wir wissen, dass die Moleküle eine höchst ungeordnete Bewegung, die Temperaturbewegung aufweisen. Versucht man also,

Dipolmoleküle mit Hilfe eines elektrischen Feldes zu orientieren, so wird diese Orientierung nicht voll zustande kommen können, da sie fortwährend infolge der Temperaturbewegung durch die gegenseitigen Stösse der Moleküle gestört werden wird. Man wird offenbar um so weniger Orientierung bekommen, je intensiver die Bewegung, d. h. je höher die Temperatur ist. Schliesst man daher etwa ein Gas von Dipolmolekülen in einem unveränderlichen Volumen ein, so wird man zu erwarten haben, dass die bei konstanter Dichte bestimmte Dielektrizitätskonstante mit zunehmender Temperatur abnehmen muss. Das Gesetz, nach welchem dieses geschieht, kann mit Hilfe eines nach Boltzmann und Maxwell benannten Prinzips berechnet werden. Die Begründung ist vollkommen analog derjenigen, die Langevin auf dem Gebiete des Magnetismus ausführte zur Ableitung des Curieschen Gesetzes des Paramagnetismus. Diese innere und äussere Ähnlichkeit beider Fälle brachte Sommerfeld neulich dazu, für die elektrische Erregung durch Orientierung den Namen Paraelektrizität vorzuschlagen. Während nun die Erregung auf Grund der Orientierung sich als temperaturempfindlich erweist, ist das mit der Erregung durch Deformation nicht der Fall. Durch Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante bekommt man also die Möglichkeit festzustellen, ob die betreffenden Moleküle Dipolcharakter haben und kann dann durch Anwendung des Temperaturgesetzes die Grösse des Dipols bestimmen.

Solche Untersuchungen wurden schon vor langer Zeit, als ihre Deutung noch nicht bekannt war, im Nernstschen Laboratorium ausgeführt von Baedeker. Später hat dann Jona und in neuester Zeit haben besonders Zahn in Princeton und Sänger in Zürich solche Messungen mit modernen Hilfsmitteln gemacht. Das theoretische Temperaturgesetz hat sich bisher stets bestätigt. Die Werte, welche für die Dipolmomente gefunden wurden, sind von der Grössenordnung 10^{-18}. Gerade diese Grössenordnung ist es, welche das Zutrauen in die Richtigkeit der Voraussetzungen wesentlich bestärkt. Die Ladung eines Elektrons ist von der Grössenordnung 10^{-10} C. S. Einheiten, die Abstände im Molekül sind von der Grössenordnung 10^{-8} cm; wir haben also in der Tat von vornherein zu erwarten, dass das Moment (durch ein Produkt Ladung mal Abstand zu messen) die Grössenordnung 10^{-18} aufweisen muss.

Unter den verschiedenen Anwendungen, welche man von der

Ausnahme der Existenz von Dipolmolekülen machen kann, ist eine zugleich einfach und hübsch. Die Formel, mit welcher der Chemiker ein Molekül bezeichnet, soll gestatten, das chemische Verhalten aus ihr abzulesen. Sie kann das, wenn sie wirklich die gegenseitige Lagerung der Atome darstellt. Genügt sie aber dieser Forderung, dann muss man erwarten, dass auch die elektrischen Eigenschaften des Moleküls durch die Formel wiedergegeben werden. So wird man die Symmetrieeigenschaften der Formel in Verbindung bringen wollen mit der elektrischen Symmetrie des wirklichen Moleküls und erwarten, dass ein unsymmetrisches Molekül Dipolcharakter haben wird, während ein symmetrisch gebautes kein Dipolmoment aufweisen dürfte. Errera hat von diesem Gesichtspunkte aus einige Isomeren in flüssiger Form untersucht. Zahn demonstrierte an einem Falle den Einfluss der relativen Lage einer Doppelbindung im Molekül; besonders einfach aber liegen die Verhältnisse bei einer Reihe von Gasen und Dämpfen, die Sänger in letzter Zeit behandelt hat. Als Versuchsobjekte wählte er die Reihe CH_4, CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$, CCl_4, die Substanzen wurden, um jede Komplikation zu vermeiden, in Dampfform und bei konstant gehaltener Dichte untersucht. Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante zeigte sich bei den drei mittleren Molekülen, während sie bei den beiden äussersten fehlte. Das ist genau, was man auf Grund des bekannten Tetraedermodells für die Valenzen des Kohlenstoffatoms erwarten würde. Sind die vier Atome, welche am C-Atom gebunden sind, alle vier gleich, dann ist kein Dipolmoment vorhanden. Ist aber 1, oder 2, oder 3 der H-Atome durch ein Cl-Atom ersetzt, dann tritt sofort eine Dissymmetrie auf, welche dem Molekül ein Dipolmoment verleiht, das im Temperaturverhalten der Dielektrizitätskonstante zum Ausdruck kommt.

V.

Die dielektrischen Versuche, von denen oben die Rede war, haben uns in der Überzeugung bestärkt, dass das elektrische Bild des Moleküls der Wirklichkeit entspricht. Versuchen wir jetzt, ob die Molekularkräfte, wie sie z. B. bei der Verflüssigung eines Gases sichtbar werden, in Zusammenhang mit jenem Bilde gebracht werden können.

Als van der Waals zeigte, dass eine Kontinuität zwischen dem gasförmigen und dem flüssigen Zustande existiert und er das

charakteristische Verhalten in grossen Zügen durch seine berühmte Zustandgleichung wiedergab, war er ausgegangen von zwei Grundannahmen. Die Moleküle sollen sich erstens in grösserer Entfernung stets gegenseitig anziehen; zweitens sollen sie in kleinerem Abstande abstossende Kräfte aufeinander ausüben, die sehr rasch mit abnehmender Entfernung zunehmen und durch die Einführung wirklicher Moleküldurchmesser approximiert werden können. Diesen zwei Grundannahmen entspricht die Einführung zweier individueller Konstanten, der Anziehungskonstante a und der Volumkonstante b. Die kritischen Konstanten (der kritische Druck, das kritische Volumen und die kritische Temperatur) sind nach VAN DER WAALS durch die beiden Molekularkonstanten a und b ausdrückbar. Es hat sich gezeigt, dass die VAN DER WAALSsche Formel nur eine erste grobe Näherung darstellt, wenn es sich um die quantitative Darstellung des wirklichen Verhaltens eines Gases handelt, während dagegen das qualitative Verhalten aller Gase in ausgezeichneter Weise wiedergegeben wird. Es ist demnach als sicher anzunehmen, dass die von VAN DER WAALS postulierte universelle Anziehung existiert, und wir haben uns nicht nur zu fragen, ob eine solche Anziehung aus unserem elektrischen Bilde folgt, sondern ausserdem zu untersuchen, ob die elektrischen Kräfte gross genug sind, um die tatsächliche molekulare Anziehung zu erklären.

Welche Grössen hier eine Rolle spielen, sei an Hand eines Beispiels erläutert. Argon hat eine kritische Temperatur von 151° absolut und einen kritischen Druck von 48 Atmosphären. Nach der VAN DER WAALSschen Formel leitet man daraus ab für a den Wert $1{,}4 \cdot 10^{12}$ und für b den Wert 32, beides im C. G. S.-System. Da im Sinne von VAN DER WAALS b das Vierfache des wirklichen Volumens der Moleküle misst, bedeutet der letztere Wert, dass in einem Mol Argon, das unter Normaldruck und bei 0° Celsius 22 Liter ausfüllt, das wirkliche Volumen der Argonatome nur 8 cm^3 beträgt. Anderseits folgt aus dem angegebenen Werte von a, dass unter den gleichen Normalumständen zum äusseren Druck von einer Atmosphäre noch ein innerer Druck von etwa $0{,}_{003}$ Atmosphären hinzukommt, welchen das Gas auf sich selbst ausübt infolge der gegenseitigen Anziehung der Moleküle. Mit zunehmender Dichte wird dieser Binnendruck rasch grösser und erreicht in der flüssigen Phase Werte von der Grössenordnung 1000 Atmosphären.

Man denke sich nun zwei Moleküle von Dipolcharakter in

einer gewissen Entfernung voneinander. Sie werden dann noch alle möglichen Orientierungen ihrer Dipolachsen haben können. Die Frage ist, ob unter diesen Umständen im Mittel eine resultierende Kraft von einem auf das andere Molekül ausgeübt wird, als Folge der elektrischen Felder, die von einem Ladungssystem ausstrahlend am anderen angreifen. Nach den Grundgesetzen der Elektrostatik folgt leicht, dass überhaupt keine resultierende Kraft vorhanden ist, falls alle Orientierungen der elektrischen Momente im Raum gleichberechtigt sind. Ebenso aber, wie ein Moment in einem äusseren elektrischen Felde eingestellt wird und dadurch die paraelektrische Erregung zustande kommt, ebenso wird jedes Molekül bestrebt sein, sich im Felde des anderen zu orientieren. Auch diese Orientierung ist indessen durch die Temperaturbewegung gestört. Sie wird also um so weniger ausgesprochen sein, je höher die Temperatur ist. Aber solange sie vorhanden ist, werden nach dem Boltzmann-Maxwellschen Prinzip die Orientierungen geringerer potentieller Energie bevorzugt, ähnlich wie die Luftmoleküle die Nähe der Erdoberfläche bevorzugen und infolgedessen unsere Atmosphäre nach oben an Dichte abnimmt. Im ganzen folgt also unter Berücksichtigung dieses Umstandes eine gegenseitige Energie, die als Anziehung in die Erscheinung tritt.

Bei der Besprechung der dielektrischen Eigenschaften sahen wir, dass die Substanzen in zwei grosse Gruppen zerfallen. Bei der einen Gruppe ist die dielektrische Erregung temperaturempfindlich, bei der andern nicht. Nur die Moleküle der erstgenannten Sorte sind Dipolträger, nur auf diese Moleküle ist also die obere Überlegung anwendbar. Für Argonatome z. B., die kein elektrisches Moment besitzen und die sich doch auch nach van der Waals gegenseitig anziehen, würde man scheinbar die Überlegung nicht benutzen können.

Indessen, das Wesentliche der Betrachtung liegt nicht darin, dass wir von Dipolmolekülen ausgegangen sind; auch wenn die elektrischen Systeme der Moleküle symmetrischer sind und erst mit Hilfe von Momenten höherer Ordnung charakterisiert werden können, besitzen sie gegenseitige potentielle Energie. Die Orientierungen kleinster Energie werden nach wie vor bevorzugt und eine gegenseitige Anziehung stellt sich ein.

Insbesondere Keesom hat Rechnungen durchgeführt über diese „Anziehung durch Orientierung“. Wie nicht anders zu erwarten,

wird die so errechnete Molekularanziehung temperaturempfindlich; aber auch die Experimente fordern diese Abweichung vom ursprünglichen VAN DER WAALSschen Ansatz. Die elektrischen Trägheitsmomente, welche z. B. bei denjenigen Molekülen, die keine Dipolträger sind, nötig wären, um die Formeln quantitativ den experimentellen Ergebnissen auzupassen, ergaben sich von der Grössenordnung 10^{-26}. Diese Grössenordnung ist wieder in Übereinstimmung mit dem, was wir erwarten müssen. Ein solches Moment hat nämlich die Dimension Ladung mal Quadrat eines Abstandes, und da die Elektronenladung die Grössenordnung 10^{-10} und die Molekülldimensionen die Grössenordnung 10^{-8} haben, folgt der zu erwartende Wert ebenfalls zu 10^{-26}.

Bei näherem Zusehen ergeben sich indessen verschiedene Einwände, die von wesentlicher Bedeutung scheinen. Die Ansätze, welche im Sinne des BOLTZMANN-MAXWELLschen Prinzips den KEESOMschen Rechnungen zugrunde liegen, erfordern implicite die Existenz einer relativ beträchtlichen kinetischen Rotationsenergie der Einzelteilchen. Diese Energie müsste sich in der spezifischen Wärme bemerkbar machen und wir wissen, dass dieses, wenigstens bei den einatomigen Edelgasen, die doch auch die VAN DER WAALSsche Anziehung zeigen, nicht der Fall ist. Nur eine Abänderung des Rechnungsprinzips, die vielleicht allerdings nicht von vornherein als unberechtigt abgetan werden kann, würde den Widerspruch beheben können. Überdies aber haben die bisherigen Versuche des Leidener Laboratoriums zwar gezeigt, dass die „Konstante“ a keine Konstante ist; es hat sich indessen in allen Fällen ergeben, dass die Molekularanziehung bei zunehmender Temperatur einem festen Grenzwert zustrebt und nicht verschwindet. Dieser Forderung kann die „Anziehung durch Orientierung“ nie genügen. Wenn die kinetische Energie der Rotation gross wird im Vergleich mit der potentiellen Energie der Orientierung, werden alle Achsenlagen gleichberechtigt und damit verschwindet, wie oben bemerkt, die Anziehung nach den Grundgesetzen der Elektrostatik.

Eine Revision der Voraussetzungen zeigt bald, dass diese nicht in jeder Hinsicht einwandfrei sind. Schon bei der Besprechung der dielektrischen Eigenschaften fanden wir es nötig, auf die alte Idee von MOSOTTI zurückzugreifen, dass das Molekül nicht ein starres Gebilde ist, sondern durch ein elektrisches Feld deformiert werden kann. Die Tatsache, dass die Lichtgeschwindigkeit in einem Gase

eine andere ist als im Vakuum, liefert den experimentellen Beweis für diese Deformierbarkeit, und der Brechungsexponent ist ein Mass für die Beweglichkeit der Ladungen im Molekül. Wenn dem aber so ist, dann muss schon ohne Orientierung eine gegenseitige Anziehung der Moleküle, die „Anziehung durch Polarisation" existieren. Jedes Molekül wird mit Hilfe eines Feldes ein benachbartes beeinflussen, ähnlich wie eine kleine leitende Kugel influenziert werden würde. Infolge dieser Influenz entsteht eine gegenseitige potentielle Energie, welcher nach den Grundgesetzen der Elektrostatik Kräfte entsprechen, die das influenzierte Teilchen nach solchen Stellen treiben, wo die Feldintensität am grössten ist. Was hier geschieht, ist dasselbe wie das, was wir beim Grundversuch in der Elektrostatik beobachten, wo wir feststellen, dass ein beliebig geladener Körper alle anderen neutralen Körper ohne Ausnahme anzieht, das heisst ohne zwischen Leiter und Nichtleiter zu unterscheiden. Eingehendere Rechnungen haben gezeigt, dass die Grössenordnung der Polarisationskräfte in der Tat ausreicht, um z. B. das quantitative Verhalten der Molekularanziehung bei den Edelgasen wiederzugeben. Es ist also schliesslich kein Grund mehr vorhanden, an der Möglichkeit einer elektrischen Deutung der VAN DER WAALS schen Attraktionskräfte zu zweifeln. Diese Überzeugung ist inzwischen sogar so stark geworden, dass in neuester Zeit BORN und einige Mitarbeiter die Polarisationskräfte als wesentlich herangezogen haben, um sogar den inneren Aufbau von heteropolaren Molekülen wie HCl und H_2O zu erklären.

VI.

Überblicken wir die Gesamtheit des bisher vorgebrachten Materials, so werden wir durch die Tatsache getroffen, dass die Erfolge immer dort erreicht wurden, wo es sich um Erscheinungen handelt, die wesentlich durch den Feldverlauf im grösseren Abstande vom Molekül bestimmt werden. In der BORNschen Theorie der heteropolaren Kristalle müssen die bei grösserer Annäherung wesentlichen Abstossungskräfte durch einen phänomenologischen Ansatz mittels eines Potenzgesetzes gefasst werden. In der Gastheorie spricht man nach wie vor von einem Moleküldurchmesser, der die gegenseitige Annäherung beschränkt. Von einer einleuchtenden Erklärung dieser in kleinen Abständen allein massgebenden Kräfet ist keine Rede. Man darf daraus wohl schliessen, dass das Problem

diese Wirkungen ebenfalls auf bekannte einfache Erscheinungen zurückzuführen, wenigstens zurzeit besonders schwierig sein wird. Infolgedessen wird man darauf geführt, die Fragestellung zunächst in der einfachst möglichen Form anzugreifen. Das geschieht, indem man nicht den Zusammenstoss zweier Moleküle oder Atome, sondern den Zusammenstoss eines Atoms mit einem Elektron untersucht. Da man in einem elektrischen Felde den Elektronen beliebige Geschwindigkeiten erteilen und sie überdies bequem nachweisen kann, hat man nebenbei noch den Vorteil, dass man die Zusammenstösse unter stark variierten Bedingungen experimentell verfolgen kann. Solche Versuche sind als erster von LENARD ausgeführt worden. Zunächst hat er festgestellt, dass die Atome Elektronen grosser Geschwindigkeit ohne starke Rückwirkung durchlassen, womit die Grundlage geschaffen wurde für unser heutiges Atombild. Eine Störung der Elektronenbewegung von derjenigen Grössenordnung, wie man sie nach dem Bilde der harten Kugeln erwarten würde, stellt sich erst ein bei relativ kleinen Geschwindigkeiten. Das interessante Gebiet der mittleren Geschwindigkeiten, welches besonders von FRANCK und einer grossen Reihe von anderen Gelehrten untersucht wurde, und das sein eigenes Gepräge erhält durch die Quantensprünge, welche die Elektronen erzeugen können, liegt ausserhalb des hier zulässigen Rahmens. Für uns ist an dieser Stelle wesentlich, dass auch im Bereiche kleiner Geschwindigkeiten, die keine dauernden Änderungen im Atom verursachen, sehr merkwürdige und unerwartete Erscheinungen existieren, die vor einigen Jahren von RAMSAUER experimentell nachgewiesen und seitdem mehrfach bestätigt wurden.

Als Beispiel sei das Verhalten von Argon etwas näher betrachtet. Elektronen, welche eine Potentialdifferenz von etwa 40 Volt durchlaufen haben, werden ähnlich zerstreut, wie das auf Grund des gewöhnlichen gaskinetischen Atomdurchmessers zu erwarten ist. Geht man nun zu kleineren Geschwindigkeiten über, so wird zunächst die Zerstreuung grösser. Sie steigt indessen nicht dauernd, sondern erreicht bei 13 Volt einen Maximalwert, welcher roh einem 2,5 fach vergrösserten Atomquerschnitt entspricht. Von da an wird nun merkwürdigerweise mit abnehmender Geschwindigkeit die Zerstreuung wieder geringer und entspricht z. B. bei einer Geschwindigkeit von 1 Volt nur mehr einem Querschnitt, welche ungefähr gleich dem dritten Teile des gaskinetischen Querschnittes ist.

Gewisse Versuche legen die Vermutung nahe, dass bei ganz kleinen Geschwindigkeiten wieder erneut ein Anwachsen der Zerstreuung einsetzen dürfte.

Glaubt man, dass ein Atom, welches nach Bohr ein dynamisches System ist, nicht von einem elektrostatischen, sondern von einem elektrodynamischen Wechselfelde umgeben ist, so kann man verstehen, dass die ankommenden Elektronen deshalb eine Abstossung erfahren werden, weil sie bei der Annäherung kinetische Energie von der Art einer Schwingungsenergie aufspeichern werden. Auch die Tatsache, dass bei Verkleinerung der Geschwindigkeit eine Vergrösserung der Zerstreuung zustande kommt, folgt, wenn berücksichtigt wird, dass das Atom vom Elektron polarisiert werden muss und deshalb das Elektron anzieht. Aber es scheint kaum wahrscheinlich, dass man mit Hilfe der klassischen Vorstellungen verstehen kann, dass bei noch kleinerer Geschwindigkeit die Ablenkungen wieder abnehmen. Es ist deshalb von Hund versucht worden, die Regeln der Quantentheorie so zu formulieren, dass die Beobachtungen mit ihnen, wenigstens qualitativ, im Einklange sind. Obwohl man offenbar von einer wirklich quantitativen und einleuchtenden Theorie noch sehr entfernt ist, scheint es doch sicher, dass nur eine Abänderung der Grundgesetze im Sinne der Quantentheorie zum Erfolg führen wird. Heute ist man wohl trotz einiger bemerkenswerter Ansätze noch nicht im Besitze einer genügend umfassenden Formulierung der Quantengesetze, um das Problem der Zusammenstösse mit Aussicht auf einen durchschlagenden Erfolg in Angriff nehmen zu können. Indessen schon die Erkenntnis allein, dass die Quantengesetze wesentlich sein werden für den weiteren Fortschritt auf diesem Gebiete, ist nicht gering einzuschätzen. Die stetig fortschreitende Entwicklung auf dem Gebiete der Quantentheorie, welche neuerdings durch die Namen Heisenberg, Born, Dirac, de Broglie, Schrödinger gekennzeichnet ist, lässt hoffen, dass auch das hier zuletzt behandelte Problem in nicht zu ferner Zeit gelöst werden wird.