

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: 85 (1902)

Rubrik: Conférences faites aux assemblées générales

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 12.01.2026

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

CONFÉRENCES FAITES AUX ASSEMBLÉES GÉNÉRALES

Le bleu du ciel

par M. le prof. W. SPRING (Liège).

L'illumination et la coloration de la voûte céleste sont les deux principaux phénomènes de l'optique météorologique.

Si le premier est aujourd'hui définitivement expliqué, il n'en est pas de même du second, malgré les nombreuses tentatives qui ont été faites.

Nous ne passerons pas en revue toutes les explications qui ont été proposées, car nous sortirions du cadre dans lequel nous devons nous renfermer; nous nous bornerons à dire qu'elles peuvent être ramenées à deux types bien distincts. Le premier, que l'on peut qualifier de *physique*, se recommande de l'autorité de physiciens illustres, aussi est-il favorablement reçu partout, ou peu s'en faut. Le second, que nous nommerons *chimique*, est d'origine modeste; il a été timidement formulé par des hommes de laboratoire et il n'a pas reçu fort bon accueil. C'est sur lui, cependant, que je désire surtout appeler l'attention, car la science a tout à gagner à l'exercice de la critique et de la discussion.

Voyons d'abord en quoi consistent ces types d'explications et notamment en quoi ils sont opposés l'un à l'autre.

Dans le premier, on part de la pensée que l'air est, en somme, sans couleur propre et l'on cherche l'origine du bleu du ciel dans les phénomènes optiques dont les milieux troubles sont le siège ; dans le second, au contraire, on regarde l'air comme ayant une couleur propre et l'on n'attribue au trouble de l'atmosphère d'autre rôle que celui de l'illumination du jour.

Pour nous prononcer entre ces deux théories, nous devons nécessairement examiner *leurs lettres de créance*, c'est-à-dire nous renseigner exactement sur leurs procédés et sur la valeur de leurs points d'appui.

L'origine du *type physique* se trouve surtout dans les expériences que Tyndall a faites sur *l'illumination des vapeurs*. Cet illustre physicien avait constaté qu'en éclairant fortement une vapeur en voie de condensation, elle se colorait en bleu d'azur et il pensa, de suite, à appliquer cette observation à l'explication du bleu du ciel. Il fut encouragé dans son projet par un phénomène particulier. La lumière renvoyée par la vapeur *était polarisée*, tout comme la lumière du ciel. Dans l'un et dans l'autre cas, le plan de polarisation passait par la source lumineuse et la polarisation était plus forte dans une direction perpendiculaire à la lumière incidente. Cet accord surprenant paraît avoir vraiment formé la conviction de Tyndall. Pour lui l'atmosphère était le siège de condensations continuelles, donnant lieu, suivant son expression, à des « *nuages naissants* » qui, éclairés par le soleil, produisaient, à la fois, et le bleu du ciel et son illumination.

Cette théorie n'était cependant pas sans présenter

certaines difficultés. On ne conçoit pas bien l'atmosphère comme étant perpétuellement un lieu de condensation et d'évaporation d'eau si régulières que la fixité du bleu de la voûte céleste ne s'en trouve nulle part atteinte. On peut le dire, si cette théorie a été généralement acceptée, c'est qu'elle a eu la bonne fortune de trouver un appui dans une analyse mathématique que J. W. Strutt (aujourd'hui lord Rayleigh) a faite de la réflexion de la lumière sur des particules extrêmement petites. Le calcul donne, en effet, une explication de la couleur des milieux troubles, car il établit que les petites particules réfléchissent en plus grande quantité les rayons lumineux de courte longueur d'onde (les rayons violets ou bleus) et qu'elles laissent passer plus librement les autres, de sorte qu'un milieu trouble paraîtra rougeâtre par transparence et bleuâtre par réflexion. En outre ce calcul montre que la lumière renvoyée par un milieu trouble doit être *polarisée* dans un plan passant par la source lumineuse et avoir un maximum de polarisation dans une direction perpendiculaire au rayon incident. C'était bien là ce que Tyndall avait vu. La théorie et l'observation étant d'accord on a cru la question définitivement résolue.

Mais de l'accord du calcul et de l'observation sur quelques points, il ne résulte pas nécessairement que la Nature soit telle que les mathématiques l'ont supposée. L'histoire des sciences a plus d'une fois montré le danger des formules trop simples et elle a sanctionné souvent cet ancien adage « *dubium initium sapientiæ.* » Quelque solidement établie que soit en apparence une théorie, il est toujours utile pour la science, d'en scruter encore les bases et de la soumettre à des épreuves nouvelles.

Nous nous permettrons donc d'examiner, d'abord, si

vraiment la polarisation de la lumière du ciel est une preuve suffisante de l'origine optique du bleu ?

On remarquera que, rigoureusement, le phénomène de la polarisation prouve seulement la *réflexion* de la lumière et rien autre chose. C'est dépasser le fait que de voir, en lui, une indication au sujet de l'origine d'une couleur quelconque. L'atmosphère pourrait être *blanche* que les phénomènes de polarisation n'en seraient pas exclus. Le rapport de la polarisation à la couleur du ciel doit être donné par l'expérience. J'ai cru pouvoir obtenir quelques renseignements à son sujet en opérant d'après le programme suivant¹ :

Pour que la polarisation de la lumière du ciel soit une preuve suffisante de l'origine optique du bleu, il faudrait qu'elle affectât les rayons bleus du ciel seuls et non les autres, car si la polarisation est commune à tous les rayons, elle ne nous prouvera plus rien quant à l'origine particulière de l'un d'eux. Eteignons donc les rayons bleus du ciel à l'aide d'un écran de couleur complémentaire et voyons si nous supprimons la polarisation, de cette façon, au moins dans une mesure assez large ? On sait d'ailleurs, d'après Crova², que la lumière blanche de l'air est plus faible que la lumière bleue.

La substance dont la couleur est complémentaire du bleu du ciel, est une solution de *sulfocyanure ferrique*. On doit la préparer, bien entendu, à un degré d'intensité en rapport avec celui du bleu du ciel.

En regardant le ciel serein à travers une couche de ce liquide rouge-orange, on constate la disparition *du bleu*, la lumière arrivant à l'œil est incolore, mais for-

¹ *Archives des Sciences phys. et nat.*, t. VII, p. 225, 1899.

² *Comptes Rendus*, t. 109, p. 493.

tement affaiblie. Si l'on place alors *un polariscope* devant l'œil, on voit nettement que la lumière, bien que privée de bleu, *est encore polarisée*, et, autant qu'on en peut juger, dans la même proportion. La polarisation de la lumière du jour n'est donc pas une preuve suffisante de l'origine optique de la couleur du ciel. L'argument produit jusqu'à présent, en faveur de la théorie physique du bleu du ciel n'a pas le caractère péremptoire indispensable pour entraîner une conviction par lui seul. Il convient donc de ne pas opposer trop de dédain à l'opinion des chimistes qui ont dit que le ciel est bleu simplement parceque l'air est bleu. Néanmoins un mémoire récent, dû à M. le professeur Pernter, le savant météorologiste de Vienne, combat sérieusement cette opinion.

M. Pernter a répété les expériences auxquelles il vient d'être fait allusion et il les a étendues aux milieux troubles artificiels, tels qu'on les obtient en mêlant des solutions de résine à de l'eau. Ayant vu que, là aussi, la lumière renvoyée reste polarisée après qu'on a éteint la lueur bleue par un écran de couleur complémentaire, il conclut que la lumière de l'atmosphère se comporte, dans tous ses détails, comme celle d'un milieu trouble et que nos observations, loin d'infirmer la théorie optique du bleu du ciel, lui donnent un appui de plus. M. Pernter dépasse les faits quand il conclut de la sorte. Notre thèse était que l'on ne peut invoquer la polarisation du ciel comme argument en faveur de l'origine optique du bleu. En montrant que les rayons de toutes les couleurs sont polarisés par un milieu trouble quelconque, M. Pernter donne le coup de grâce à l'argument unique que l'on croyait avoir et son travail se borne à prouver une fois de plus, que l'atmosphère fonctionne comme un

milieu trouble, chose qui n'était contestée par personne.

Si l'on s'en tient donc à l'expérience, on n'a vraiment qu'une raison d'analogie pour admettre que le ciel est bleu parce que l'air est trouble, raison tirée du fait que les milieux troubles montrent, le plus souvent, un reflet bleuâtre.

Il importe cependant de faire ses réserves, car le *bleu* d'un trouble artificiel n'a pas, comme celui du ciel, la prédominance dans la lumière totale diffusée. On ne sera donc en droit de reporter à notre atmosphère les observations faites sur les troubles artificiels que quand on se sera assuré de l'identité d'origine des couleurs de part et d'autre.

Voyons à présent si la théorie de lord Rayleigh sur la génération des couleurs dans les milieux troubles rend bien compte des faits observés.

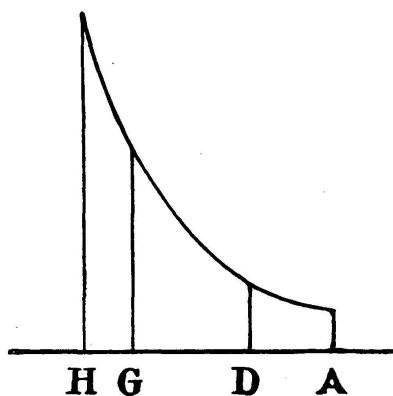
La formule à laquelle on arrive, dans cette théorie :

$$I = Ce^{-K\lambda^{-4}x}$$

nous apprend que l'intensité d'un rayon réfléchi par des particules très petites, est en raison inverse de la quatrième puissance de la longueur d'onde du rayon donné. Il est facile de calculer, alors, pour un cas donné, dans quelle proportion s'éteint un rayon donné par son passage à travers un milieu trouble : on arrive à ce résultat que la lumière correspondant à la raie rouge A s'affaiblit environ 16 fois plus que celle de la raie violette H₂ et que la lumière des raies G et D s'affaiblit, respectivement, 5 fois et 1,4 fois autant. On peut relever ces résultats graphiquement en portant les longueurs d'ondes en abscisses et les intensités en ordonnées. La courbe des intensités (voir fig.) tombe rapidement de H en D, tandis que de D en A la

chute est moins forte. D'après ce diagramme un milieu trouble devrait donc réfléchir surtout les rayons violets, même si l'on tient compte de la sensibilité différente de l'œil aux diverses couleurs. Le ciel devrait donc nous paraître plutôt violet que bleu. Mais revenons aux troubles artificiels et procédons à une observation dans les conditions que voici :

Supposons un large tube en verre, long d'environ deux mètres ; fermons-le par des plans de verre après l'avoir rempli d'eau troublée par l'addition d'un peu de solution de résine mastic dans l'alcool et faisons passer par l'axe du tube un faisceau de lumière parallèle d'une forte intensité. Le tube s'illumine dans toute sa longueur, si le trouble n'est pas trop épais et l'on remarque que la lumière émise latéralement est colorée. Près de la lanterne, c'est-à-dire à l'entrée de la lumière, on constate une *faible couleur bleue*, lavée de blanc, mais pas, ou presque pas de violet. Plus loin, le bleu s'atténue de plus en plus et il apparaît une coloration *jaune* faible sans que des tons verts se marquent. Enfin, la coloration devient de plus en plus intense en passant à *l'orange* et au *rouge pur*. En somme, les rayons lumineux paraissent pénétrer d'autant plus loin dans le trouble que leur longueur d'onde est plus grande, mais tous finissent par être réfléchis latéralement.



Un milieu trouble ne répond donc pas absolument aux conditions supposées pour le calcul de lord Rayleigh. Il ne réfléchit pas les rayons à ondes courtes dans la proportion annoncée mais il les absorbe plutôt.

On objectera que les particules formant un trouble artificiel ne sont pas de dimensions égales et que celles qui réfléchiraient surtout le bleu font probablement défaut. Soit ; mais une objection semblable peut aussi être faite au trouble aérien. Le calcul de Rayleigh montre qu'une particule donnée, qui peut réfléchir des rayons bleus, par exemple, réfléchira mieux encore des rayons violets ; alors, encore une fois, pourquoi le ciel nous paraît-il bleu ?

Quoi qu'il en soit des remarques précédentes, nous sommes en droit de demander à la théorie qui regarde le bleu du ciel comme la couleur d'un milieu trouble, de nous renseigner sur la nature de ce trouble.

Eh bien, si l'on se tient à l'observation directe, on reconnaît que les poussières de toute nature qui troublent visiblement l'atmosphère, ne vont pas bien haut. Elles forment comme un *sédiment* dans les couches inférieures de l'air et elles s'élèvent, tout au plus, à mille ou deux mille mètres. Si l'on veut donc que l'atmosphère fonctionne comme un milieu *poussièreux* jusque dans les régions les plus élevées, on devra déclarer que ces poussières échappent à l'observation, et l'on tournera dans un cercle vicieux. D'ailleurs le séjour permanent, dans les régions élevées de l'air, de particules solides ou liquides, par exemple, de particules de glace, ou de gouttelettes minuscules d'eau, est simplement inadmissible. Non seulement l'action continue de la pesanteur les ramènerait d'autant plus vite vers les régions basses que l'air des parties supérieures est moins dense, moins épais, mais *l'état électrique* de l'atmosphère rend leur stationnement impossible.

Il a été reconnu par R. Nahrwold¹ et par plusieurs autres

¹ Wiedemann Annalen, t. V, p. 460, 1878.

physiciens depuis, que des particules quelconques, surtout les plus fines, ne restent pas suspendues dans un gaz dont tous les points n'ont pas le même potentiel électrique. Il se fait, alors, une floculation rapide et le gaz est débarrassé de ses poussières en quelques instants. On peut regarder comme certain que les couches supérieures, surtout, de l'atmosphère ne sont pas partout au même potentiel ; elles sont donc armées pour se défendre contre l'invasion des particules étrangères. On se trouve fatalement conduit, de la sorte, à chercher dans les *molécules, elles-mêmes, de l'air* l'obstacle contre lequel se heurtent les rayons de la lumière solaire. Cette hypothèse paraît ne pas déplaire à la plupart des météorologistes ; elle est cependant contredite par plusieurs observations.

Je suis d'autant plus heureux de les rappeler ici, qu'elles évoquent le souvenir d'un des nombreux savants dont la Suisse, et la Ville de Genève en particulier, s'honorent au plus juste titre : j'ai cité Soret, à qui la science de la lumière doit tant de beaux travaux.

Pour respecter l'ordre chronologique des faits il y a lieu de dire, d'abord, que Tyndall a déjà constaté, quand il fit ses intéressantes expériences sur l'illumination des gaz, qu'un faisceau de lumière ne donne une trace visible que si l'air qu'il traverse renferme des poussières, même quand celles-ci échappent à l'observation directe. Ayant tenu un tisonnier rougi au feu, ou la flamme d'une lampe à alcool, sous le faisceau éclairé, il vit s'éteindre toute trace lumineuse et l'air lui parut comme traversé par de la fumée noire. C'était, dit Tyndall, « l'obscurité des espaces planétaires. » Ainsi donc, dans l'esprit de Tyndall lui-même, un gaz est “ *optiquement vide* ” (l'expression est de lui), aussi longtemps qu'il n'est pas chargé de matières

étrangères. Ce n'est qu'en faisant naître, dans un espace raréfié, un trouble nuageux très fin, que Tyndall put constater *l'illumination bleue* qui lui suggéra l'idée d'assimiler le bleu du ciel à un phénomène de coloration d'un milieu trouble. On remarquera, toutefois, que les conditions particulières, réalisées en dernier lieu par Tyndall, n'ont rien de commun avec celles de notre atmosphère. L'illumination bleue n'a duré que quelques instants dans le tube de Tyndall, sans doute parce que le trouble nuageux se condensait rapidement. Dans l'air, au contraire, le bleu est d'une fixité remarquable qui s'accorde mal avec la mobilité des vapeurs en voie de condensation.

A la même époque, M. Lallemand, de Lyon, avait étudié le passage de la lumière à travers certains corps transparents, liquides ou solides, et constaté leur illumination sitôt qu'ils étaient traversés par une lumière suffisamment intense. Il crut à une propriété spéciale des milieux transparents : celle de devenir *fluorescents* dans une lumière intense. C'est alors que Soret fit voir que l'interprétation de Lallemand n'était pas exacte. Un corps solide, ou liquide, ne renvoie la lumière latéralement que s'il renferme des particules étrangères, ou s'il manque d'homogénéité d'une manière quelconque. La trace estompée que laisse voir l'eau, par exemple, quand un faisceau lumineux la traverse, n'est pas d'intensité constante. Celle-ci diminue à mesure que l'eau est purifiée avec plus de soin. Soret conclut, judicieusement, de cette observation, que la trace lumineuse n'est qu'accidentelle et qu'elle disparaîtrait totalement s'il était possible de préparer de l'eau absolument pure. En un mot, Soret n'a pas cru à la réflexion de la lumière par les molécules des corps transparents.

Le fait étant admis pour les corps solides et les corps

liquides, on doit se demander s'il se reproduit dans les gaz, particulièrement dans des gaz très raréfiés qui, à certains égards, ne se comportent pas toujours comme des liquides *superdilatés*. Nous avons essayé de résoudre le problème¹. Au lieu d'opérer, comme Tyndall l'avait fait, avec de l'air, dont les molécules d'azote, d'oxygène, etc., appartiennent probablement aux plus petites, nous avons eu recours aux molécules plus grosses des sels et de diverses substances, afin de faciliter les observations et les rendre plus certaines. Comme il eût été impossible d'observer aux températures auxquelles ces corps se volatilisent nous avons tourné la difficulté en faisant usage de *dissolutions*. La chimie physique a fait voir, en effet, que l'acte de la dissolution d'un corps dans un solvant doit être assimilé à sa volatilisation dans cet espace spécial. Une solution de sulfate de potassium, par exemple, doit être regardée comme un milieu dans lequel ce sel serait à l'état de gaz, à la température ordinaire. En exposant la solution à un faisceau lumineux parallèle on devrait voir la trace des rayons lumineux si les molécules du sel avaient la faculté de réfléchir la lumière, puisque, d'après Soret, les molécules du solvant à l'état pur, n'ont pas ce pouvoir. Il était indispensable, évidemment, de pousser d'abord la purification optique de l'eau aussi loin que possible et de s'assurer s'il était pratiquement possible de réaliser un milieu optiquement vide. Le résultat a été atteint de deux manières : par voie chimique et par voie physique. Dans le premier cas, on provoque la formation dans l'eau, d'un préci-

¹ Voir *Sur la réalisation d'un liquide optiquement vide* et *Sur la diffusion de la lumière pour les solutions* : BULL. DE L'ACAD. DE BELGIQUE (*Classe des Sciences*), p. 174 et p. 300, 1899.

pité gélatineux qui agglutine toutes les particules solides et les entraîne avec lui. La clarification se fait par le repos durant quelques mois ou même par filtration à travers ce précipité, à l'abri de l'air. Dans le second cas, on enfonce, dans l'eau distillée, deux électrodes de platine entre lesquelles on maintient une différence de potentiel d'une vingtaine de volts au moins. Dans ces conditions, les particules qui étaient en suspension dans l'eau se concentrent généralement autour de l'*anode* et après un certain temps il ne s'en trouve plus autour de la *cathode*. Si l'on éclaire alors l'eau on ne constate d'autre illumination que celle provenant de bulles d'air circulant dans le liquide. L'eau est donc bien un milieu optiquement vide; la lumière ne se réfléchit pas sur ses molécules. Ceci posé, passons au cas où l'eau renferme des sels dissous.

Le résultat général des observations a été le suivant: les sels dérivant d'acides et de bases séparément solubles dans l'eau, fournissent un liquide optiquement vide, ou peu s'en faut, tandis que les sels dont la base n'est pas soluble dans l'eau, tels les sels d'aluminium, ou de chrome, donnent des solutions qui, quoiqu'on fasse, s'illuminent sous l'action de la lumière. La raison de ce fait est simple: les sels sont hydrolysés, en solution, et la base se trouve à l'état de pseudosolution (solution colloïdale) quand elle n'est pas véritablement soluble; ces solutions colloïdales ont, on le sait, peu de transparence. On constate encore que les solutions *non électrolytes*, les solutions de sucre ou d'urée, n'ont jamais la transparence des solutions salines ¹. Quoiqu'il en soit, on doit

¹ Les dérivés liquides du carbone, les alcools, le chloroforme, etc., montrent tous le phénomène de l'illumination, quelque soit le soin mis à la purification. On remarquera que ce sont des non-électrolytes.

regarder comme possible la réalisation des milieux optiquement vides à l'aide de certaines solutions. La réflexion de la lumière sur les molécules ne peut être érigée *en principe*. Soret a bien vu quand il l'a regardée comme accidentelle, ou comme relevant de circonstances spéciales. Au reste, on conçoit difficilement que la lumière se réfléchisse sur les molécules si l'on tient compte de leur extrême petitesse : les molécules de l'air seraient, d'après un calcul de Thomson, environ *dix mille fois plus petites* que l'onde lumineuse moyenne. Admettre une réflexion dans ces conditions serait regarder, en quelque sorte, la direction des vagues de la mer comme soumise aux corps flottant à sa surface. Quelle peut donc être alors la cause de l'illumination perpétuelle de l'air jusque dans les régions les plus élevées ?

La réponse à la question est due également à un savant suisse, à M. Hagenbach, de Bâle. Cet éminent physicien a fait remarquer que l'atmosphère ne peut être un milieu homogène, car la température manque essentiellement de stabilité et d'uniformité. Un rayon lumineux qui traverse l'air doit donc subir un grand nombre de réflexions et de réfractions, sur les couches d'air de densités différentes, avant d'arriver à notre œil. En un mot, l'air se comporterait comme un milieu trouble sans qu'il en soit un au point de vue de sa composition.

On a objecté à la théorie de M. Hagenbach que ces réflexions de la lumière sur des couches d'air de densités en somme peu différentes, ne sauraient produire la clarté du jour. C'est là une affirmation gratuite et erronée. Voici qui le prouve. Si l'on remplit d'eau absolument pure, un long tube (26^m), fermé par des plans de verre, on constate aisément que la lumière ne

traverse le tube que si la température est parfaitement la même en tous les points. Dans le cas contraire, l'eau paraît aussi noire que de l'encre; même si la source lumineuse est très forte. L'effet d'une différence de température est, à cet égard, d'une puissance remarquable. Nous avons reconnu que si l'eau du tube est seulement de $0^{\circ},6$ au-dessus de celle de l'enceinte, l'eau paraît opaque. Il est évident que, dans ces conditions, la lumière incidente doit être renvoyée latéralement si elle n'est pas absorbée *in situ*. S'il suffit d'une si petite différence de température pour supprimer la transparence d'une colonne d'eau de 26 m., il est admissible que l'atmosphère nous présente, d'une manière permanente, un phénomène semblable. D'abord les différences de température varient dans une large mesure depuis le sol jusqu'aux confins de l'atmosphère; ensuite, les différences de densité sont plus grandes dans l'air que dans l'eau, à variation égale de température. Ces deux causes s'ajoutant, on ne peut nier qu'il se passe dans l'air, en grand, ce que l'on constate en petit dans le laboratoire; c'est-à-dire que l'atmosphère, même absolument dépourvue de particules en suspension, est le siège d'une diffusion latérale, intense, de la lumière solaire.

On a dit aussi de la théorie de M. Hagenbach, que la réflexion de la lumière même répétée sur les couches d'air de densité différente, ne saurait expliquer le bleu du ciel. Ceci n'est un point faible que si l'on veut absolument une origine optique au bleu du ciel, mais s'arrange, au contraire, très bien avec la conception d'une couleur propre de l'air. Enfin, on a reproché à cette théorie de ne pas rendre compte, d'une manière commode, des particularités de la polarisation de la lumière du ciel, principalement du fait que le maxi-

mum de la polarisation a toujours lieu dans une direction perpendiculaire à celle des rayons du soleil arrivant à l'observateur. Ici encore, nous croyons que l'on s'est mépris. On a supposé que les couches de densité différente sont distribuées plus ou moins régulièrement dans l'atmosphère et même que les directions horizontales dominant parce que, disait-on, le vent doit être la cause principale de l'inhomogénéité de l'air. C'est encore une affirmation non fondée. Les choses doivent se passer dans l'air comme elles se passent dans l'eau du tube que nous avons rappelé à l'instant. Le fait que l'eau ne laisse pas passer la lumière au travers d'une certaine épaisseur aussi longtemps qu'il n'y a pas équilibre de température avec le milieu ambiant, démontre que les filets de densité différente ne sont pas rangés en couches superposées, mais disposés d'une manière quelconque. L'atmosphère est, bien plus que l'eau contenue dans un tube, parcourue par des courants de convection et le théâtre de mille mouvements d'origine mécanique et physique. Dans ces conditions, une orientation, même rudimentaire, paraît absolument improbable. Nous devons donc regarder plutôt les filets gazeux comme s'entre-croisant partout, dans toutes les directions, sur les 70 kilomètres d'épaisseur de notre atmosphère. En résumé, l'effet produit au point de vue optique, sera analogue à celui que Lord Rayleigh a supposé dans son calcul, quand il a regardé l'air comme un milieu troublé *par des points de réflexion*.

La théorie de M. Hagenbach se dressant ainsi contre la théorie du *trouble particulaire*, on a essayé de lui trouver un vice rédhibitoire et l'on a dit qu'elle conduisait à une extinction de la lumière du ciel et non à son illumination; car, étant donné qu'un rayon polarisé tota-

lement ne se réfléchit pas sur un plan perpendiculaire à celui qui a produit la polarisation, il faut, a-t-on dit, que si les filets d'inégale densité de l'air ont une direction quelconque, un rayon polarisé donné trouve toujours sur son chemin, un plan sur lequel il s'éteindra. L'objection serait fondée si les filets d'air étaient opaques, mais comme ils sont en réalité transparents, le rayon qui ne peut se réfléchir sur un filet donné par suite de la position de celui-ci, passera outre en se réfractant et il ne sera pas perdu. Se réfléchissant sur tous les filets parallèles à sa polarisation et passant par tous ceux qui lui sont perpendiculaires il ne compromettra jamais l'illumination totale de l'air.

Rien de sérieux ne s'oppose donc à la théorie de M. Hagenbach ; elle se base, d'ailleurs, comme on l'a vu, sur une réalité que l'expérience vérifie, tandis que rien ne vient à l'appui de la croyance aux poussières matérielles de l'air se répandant jusque dans les hautes régions.

Au reste, la dernière objection qui a été faite à la théorie de M. Hagenbach s'applique aussi à la théorie du *trouble matériel*. Lord Rayleigh l'a fait voir lui-même, environ un an après que nous nous fussions permis d'appeler l'attention sur la réalité de la couleur bleue de l'air. Il a estimé la diminution de transparence que l'air doit éprouver du chef de la présence de particules très petites et il est arrivé à cette conclusion que le bleu du ciel ne peut être dû en tout, ni même en partie principale à des particules suspendues dans l'air¹. Après cette *consultation* du célèbre auteur de la théorie optique des milieux troubles, on pourrait regarder la cause comme entendue et n'attribuer à la présence

¹ Nature, t. 60, 1899 ; Fortschritte der Physik., 1899, (2) p. 80.

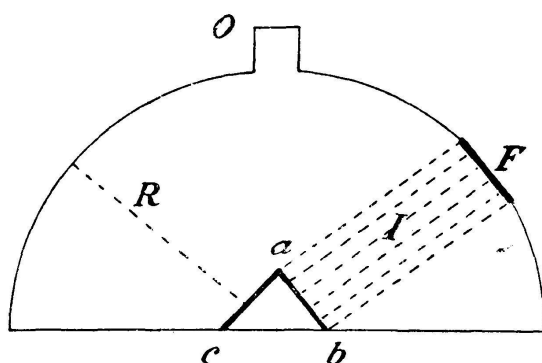
problématique de particules matérielles dans l'air qu'un rôle secondaire dans la génération du bleu et même dans le phénomène de l'illumination du ciel.

Mais il peut toujours être utile de scruter encore, comme nous l'avons déjà dit, la question, et particulièrement de faire parler l'expérience.

Voyons donc comment nous apparaît un milieu trouble, sous le rapport de sa coloration, quand on se place, vis-à-vis de lui, dans la même position que l'observateur vis-à-vis du ciel. Ce dernier est, en réalité, plongé dans le milieu trouble lui-même et, partant, dans des conditions bien différentes de celles dans lesquelles on se trouve quand on constate, dans le laboratoire, la couleur bleuâtre d'un milieu trouble artificiel. Là, on est en dehors du trouble et en bonne position pour recevoir la lumière qu'il renvoie. Au contraire, la lumière réfléchie par la voûte céleste traverse encore une certaine couche d'air avant d'arriver à notre œil. Il arrive donc de toute part de *la lumière de transmission* en un point de la terre. Quelle sera la résultante de cette réflexion et de cette transmission ? Voilà le point sur lequel l'expérience peut nous renseigner plus sûrement que l'analyse mathématique.

Pour se placer vraiment dans les conditions de la nature il faudrait disposer d'un vase de forme hémisphérique, de grandes dimensions, rempli d'un liquide trouble, renversé sur un plan de verre et éclairé par un faisceau lumineux. En plaçant l'œil au centre de cette demi-sphère, l'observateur pourrait examiner toutes les directions et en noter les particularités. La réalisation et la manipulation de ce vase seraient, à la vérité, incommodes, sinon impossibles, mais on peut simplifier les choses parce qu'il suffit, en somme, de faire les observations dans les deux directions capitales : celle

de la lumière incidente et celle qui lui est perpendiculaire. On rencontre alors les points où ont lieu, dans le ciel, le maximum d'éclairage (la direction du soleil) et le maximum de polarisation ou de coloration bleue. Nous avons donc construit seulement la partie de la demi-sphère comprise entre deux plans parallèles embrassant le centre et distants de quelques centimètres, de manière à réaliser la forme figurée dans le croquis ci-dessous. Le vase était en zinc, noirci à l'intérieur.



Sur sa périphérie se trouvait une fenêtre en verre F par laquelle passait, en un large faisceau parallèle, la lumière incidente. En regard de cette fenêtre et parallèlement à celle-ci, il s'en trouvait une autre ab qui permettait d'observer la lumière dans la direction du rayon incident. Enfin, pour faire les observations dans une direction perpendiculaire, on disposait d'une troisième fenêtre ac qui laissait passer la lumière diffusée par le liquide trouble dont le vase était rempli.

L'appareil était placé sur un trépied de manière à recevoir la lumière du ciel. Un drap noir enveloppait le trépied et formait, de cette façon, une chambre obscure dans laquelle se plaçait l'observateur.

Les premières observations eurent lieu avec de l'eau

pure troublée à l'aide d'une solution de résine mastic dans l'alcool, au point de donner, par réflexion directe, une teinte bleuâtre bien évidente. Dans ces conditions, on voit la lumière incidente *jaune-orange*, elle ne paraît pas polarisée; la lumière réfléchie par le liquide, reçue par la fenêtre *a c*, n'est pas bleue, comme on aurait pu le croire, mais d'un jaune-grisâtre ayant peut-être une pointe de vert. Elle est fortement polarisée.

Il est par conséquent prouvé, par l'expérience, que la lumière renvoyée par les couches profondes d'un milieu trouble, qui paraît cependant bleu à sa surface dans les conditions ordinaires, se dépouille de ses rayons bleus quand elle traverse le trouble. Si l'air se comportait donc véritablement comme un milieu trouble, il ne révélerait pas de coloration bleue à un observateur qui regarderait dans une direction perpendiculaire à celle du soleil, mais il laisserait percevoir une teinte grise mêlée d'un peu de jaune. En un mot, la *théorie physique* du bleu du ciel n'est pas d'accord avec les résultats de l'observation.

Il en est tout autrement de la *théorie chimique*. Pour nous en assurer, nous n'avons qu'à colorer l'eau en y dissolvant plus ou moins de *bleu de méthyle*, couleur qui se rapproche beaucoup du bleu du ciel, quand elle est convenablement diluée. On troublera ensuite le liquide, comme précédemment à l'aide d'une solution de mastic. Il est bien entendu qu'il devra exister un certain rapport entre le degré du trouble et l'intensité de la coloration pour que l'on se trouve dans de bonnes conditions d'observation : on atteint facilement ces rapports après quelques essais.

Ces dispositions étant prises, l'effet observé dans l'appareil est bien différent. Dans la direction de la

lumière incidente, on voit du *vert sombre*' (combinaison du jaune produit par le trouble et le bleu dû à la matière colorante), si l'intensité de la couleur bleue du liquide est assez forte et du *bleu* dans la direction de la lumière réfléchie. A mesure que l'on fait usage de liquides de moins en moins colorés en bleu, la lumière incidente perd de plus en plus son ton verdâtre pour gagner le jaune clair et se rapprocher ainsi de la couleur ordinaire de la lune ou du soleil, tandis que la lumière réfléchie par le liquide reste bleu avec peu de changement dans sa nuance.

Il résulte de ces observations qu'un milieu trouble ne peut paraître bleu à un observateur qui s'y trouve plongé, que s'il a une couleur bleue propre. Alors il y aura, comme nous le voyons dans l'air, une direction où l'intensité du bleu sera plus forte ; elle sera perpendiculaire à la lumière incidente et elle sera aussi le lieu où la polarisation de la lumière aura son maximum. Il est entendu toutefois que la coïncidence de ces deux maxima ne prouve en aucune façon que les deux phénomènes procèdent de la même cause.

On a néanmoins objecté à la *théorie chimique* que le bleu d'absorption de l'air était si faible qu'il ne pouvait pas avoir d'importance. Cette affirmation est au moins gratuite, car jamais on n'a observé de l'air pur, privé de tout trouble, sur une épaisseur suffisante pour conclure avec certitude. On a cru à la faiblesse de la couleur propre de l'air parce que des objets éloignés, des montagnes par exemple, ne se colorent pas aussi fortement en bleu qu'on s'y attendait. Mais on a oublié que les couches inférieures de l'air colorent en même temps la lumière en jaune, ou en rouge, du chef des poussières qu'elles renferment toujours et que ce fait suffit pour effacer en tout ou en partie la cou-

leur bleue propre de l'air. Ce n'est qu'après ou avant les pluies, lorsque l'air est débarrassé autant que possible de ses poussières, que les montagnes éloignées paraissent bien bleues ; elles affectent même parfois une teinte extraordinaire.

Mais si l'on ne peut soumettre à l'examen une couche d'air de plusieurs kilomètres d'épaisseur, il est cependant possible de se renseigner d'une autre façon.

On sait que la plupart des liquides transparents volatils donnent des vapeurs ayant souvent le même pouvoir absorbant que le liquide, en d'autres termes, que la couleur du corps à l'état de gaz est la même à peu de chose près qu'à l'état liquide. Tyndall a constaté la chose pour l'eau et sa vapeur. Tout le monde sait, en outre, que le chlore liquide a la même couleur qu'une couche équivalente de chlore gazeux. Il en est de même pour le brome. Si, pour le peroxyde d'azote et l'anhydride nitreux le même fait ne s'observe pas, c'est que l'on a affaire, ici, à un changement d'espèce chimique pendant la volatilisation.

Ceci posé, il est admissible que l'air ait la même couleur à l'état liquide et à l'état de gaz quand, bien entendu, le liquide est limpide et non troublé par des corps solides (anhydride carbonique, glace, etc.). Or on sait aujourd'hui que l'oxygène et les composés oxygénés contenus généralement dans l'air, hormis l'anhydride carbonique, sont des corps bleus tandis que l'azote serait incolore ou faiblement orangé. On peut donc faire abstraction de l'azote. Nous irons même plus loin, nous ferons abstraction de tout ce que l'air renferme en dehors de l'oxygène et nous allons voir à quel résultat vont nous conduire les observations faites déjà par Olszewski sur la couleur de l'oxygène liquide ¹.

¹ Chem. Zeitung., Repertorium, p. 66, 1891.

L'air pesant, dans les conditions normales, 1033 grammes par centimètre carré et renfermant, en poids, 23.2 % d'oxygène, il y aura $\frac{1033 \times 23.2}{100} = 239,6$ grammes d'oxygène par centimètre carré. Si cette substance était à l'état liquide on calculerait sa *hauteur* en divisant les 239 gr. 6 par sa densité. Celle-ci est si voisine de l'unité qu'il est permis de prendre pour diviseur 1, dans ce calcul approximatif, alors l'épaisseur de la couche d'oxygène liquide qui entourerait la terre serait 239 cm. 6, soit en nombre rond : 2 m. 40. Or Olszewski a reconnu que l'oxygène a une couleur bleue décidée (« eine entschieden hellblaue Farbe ») sous une épaisseur de 30 millimètres et toute personne qui a manipulé l'air liquide connaît sa couleur bleue. D'après ces données, il est plutôt surprenant que le ciel ne soit pas d'un bleu plus foncé. C'est que sans doute l'illumination de l'atmosphère ne commence pas, d'une manière efficace, à ses confins et que les tons rougeâtres dus au trouble de l'air agissent pour éteindre une partie du bleu.

Il est à peine nécessaire de rappeler que l'ozone qui se trouve toujours en petite quantité, il est vrai, dans les régions élevées de l'atmosphère est si bleu qu'une couche de quelques millimètres de ce corps à l'état liquide est presque opaque et, en outre, que la vapeur d'eau ainsi que le peroxyde d'hydrogène sont également des corps bleus.

On est donc en droit de demander comment il serait vraiment possible que notre atmosphère ne fût pas déjà suffisamment bleue du chef des quatre corps bleus qu'elle renferme.

Enfin, examinons la valeur d'une dernière objection formulée contre la théorie chimique du bleu de l'air.

On a dit que si l'air était bleu par lui-même, le maximum du bleu ne devrait pas se marquer dans une

direction perpendiculaire à celle des rayons du soleil, mais dans celle-ci même; le soleil, la lune et les étoiles devraient être d'autant plus bleus qu'ils seraient plus rapprochés de l'horizon de l'observateur¹.

C'est une profonde erreur. On se demande même si son auteur n'a pas oublié qu'à l'horizon, plus que partout ailleurs, l'air est chargé des poussières qui engendrent les tons rougeâtres près d'être complémentaires du bleu et qui déterminent son altération sinon sa suppression. Mais alors même que le soleil nous enverrait ses rayons à travers les couches les plus pures de l'air, le bleu serait encore atténué parce que ces rayons ne sont pas blancs; ils se sont colorés en chemin en abandonnant au milieu qu'ils ont traversé une partie de leur contingent le plus réfrangible. Nous ne dirons rien de l'effet que produit aussi sur la sensation de couleur un éclairage intense et qui revient pour ainsi dire à émousser notre sensibilité. C'est là un phénomène compliqué, d'un ordre étranger à la physique. Nous nous bornerons à faire remarquer que c'est la partie du ciel la moins éclairée directement par le soleil qui nous paraîtra nécessairement la plus bleue.

D'une manière plus générale nous reconnaissons que la conséquence optique du trouble de l'air sur la nuance du bleu du ciel variera avec les lieux et surtout avec l'altitude. Un observateur n'éprouvera pas la même sensation de bleu quel que soit l'endroit où il se trouve. A la surface du sol, l'observateur recevra les rayons dont la couleur sera altérée par les poussières qui ne font jamais défaut dans les basses régions. Le bleu sera atténué, plus ou moins compensé par les tons rougeâtres

¹ Anzeiger, Nr. XII der K. Academie der Wissenschaften in Wien. Math. naturw. Classe, 4. Mai, 1899.

créés par le trouble. Plus haut, au-dessus de cette couche de poussière, par exemple sur une montagne élevée, le bleu devra apparaître dans toute sa pureté. Plus haut encore, il deviendra de plus en plus sombre, non seulement par le fait de la diminution d'épaisseur de la matière bleue, mais surtout parce que l'air sera moins illuminé, la diffusion de la lumière ayant lieu d'autant moins complètement que la couche d'air traversée est moins épaisse. On constatera là une diminution de couleur et une diminution de lumière ; ce sera le prélude à l'obscurité des espaces planétaires.

Nous croyons avoir rencontré les arguments principaux qui ont été produits jusqu'à présent, à l'appui des deux théories de la coloration du ciel. Il résulte, pensons-nous, de leur examen critique que le bleu du ciel ne saurait être regardé comme la conséquence exclusive ni même prédominante du trouble de l'air ; il est plutôt la couleur propre de l'air, comme le bleu de l'eau est la couleur propre de ce liquide. Si l'air était incolore par lui-même, aucun des phénomènes de polarisation du ciel ne serait supprimé, car la polarisation est indépendante de la couleur de la lumière et elle n'est que la suite de sa diffusion dans le milieu trouble. L'illumination du ciel ne serait pas non plus diminuée ; mais le jour nous paraîtrait plus blanc, surtout dans les parties élevées, tandis qu'à l'horizon et peut-être aussi dans la direction de la lumière incidente, il manifesterait des teintes plus ou moins orangées par suite du trouble particulière des régions basses de l'air. Si nous restituons, à présent, à ce milieu fictif, sa couleur bleue, propre, nous aurons l'image fidèle de ce que nous montre le ciel. Partout où régnaient les tons orangés, le bleu sera lavé de blanc, ou supprimé, ou bien l'orangé

et le rouge domineront : le résultat sera réglé suivant l'intensité relative des couleurs. Mais là où le blanc seul était, le bleu s'étalera dans toute sa pureté.

On le voit, il y aurait entre les phénomènes de coloration de l'air et ceux des eaux, plus d'un point commun. Les eaux aussi sont illuminées et leur lumière est polarisée ; mais si l'eau était incolore par elle-même, les mers et les lacs nous paraîtraient blancs ou colorés en jaune orange plus ou moins brun. L'association du bleu de l'eau avec ces teintes produit les effets que nous constatons et, si les tons brunâtres dominant dans l'eau, par suite de la nature des matières qui les troublent, toutes les teintes depuis le vert bleuâtre jusqu'au brun-verdâtre en passant par le vert pur, pourront se réaliser.

Les installations hydrauliques et électriques de la ville de Genève.

Par M. TH. TURRETTINI (Genève).

Mesdames et Messieurs,

Lorsque notre Président, M. Sarasin, m'a demandé de faire devant vous une communication sur les installations hydrauliques de la ville de Genève, mon premier mouvement était de refuser, car ces installations ressortent plus de l'art de l'ingénieur que de la science pure que vous représentez.

Puis, à la réflexion, j'ai pensé que tous ces travaux de l'ingénieur ne sont que l'application pratique des admirables travaux des savants qui, depuis un siècle, ont créé de toutes pièces les sciences hydraulique et électrique. J'ai pensé que ces installations étaient des monuments élevés à la gloire des Franklin, des Faraday, des Oerstedt, des Ampère, des Maxwell, des Weber, des Lord Kelvin et des Mascart.

C'est dans cet esprit que je prends la parole devant vous.

Genève a possédé une des premières machines hydrauliques. Elle était destinée à élever, par la force du courant du Rhône, l'eau du lac pour la distribuer dans la ville.

Le premier projet date de 1584, mais ne fut pas exécuté ; il fut suivi de plusieurs projets qui ne se réalisèrent pas.

Ce fut en 1708 que le sieur Abeille établit la première machine qui fonctionna mal et fut remplacée en 1727 par une roue de 24 pieds de diamètre, actionnant six corps de pompe. Cette machine fonctionna presque sans changement jusqu'en 1843. Elle était placée en tête de l'Ile, sur le bras gauche du Rhône.

En 1843 furent mises en marche de nouvelles installations hydrauliques plus puissantes, placées en amont des premières, en aval de la passerelle dite de la Machine. C'étaient deux roues Poncelet de grand diamètre actionnant chacune deux corps de pompe. De chaque côté de cette installation vinrent s'ajouter en 1862 et 1868 deux turbines, l'une à axe horizontal, l'autre à axe vertical du système Callon. Enfin en 1880, la Ville de Genève décidait la construction de deux machines à vapeur, de 150 chevaux chacune, destinées à doubler les installations hydrauliques.

La Ville se trouvait donc en possession depuis près de deux siècles de son service hydraulique lorsque en 1882 elle se chargea, dans les conditions que nous verrons plus loin, de l'utilisation rationnelle des forces motrices du Rhône.

Dès 1715, Micheli du Crest, ingénieur distingué, proposa, à propos d'un projet de transformation des fortifications de Genève, l'établissement d'un canal industriel entourant le quartier de St-Gervais. On aurait utilisé la force ainsi créée.

En 1844 M. L. Vallée, inspecteur général des Ponts et Chaussées, proposait de barrer le Rhône à Genève afin d'utiliser le Léman comme réservoir. Les ravages causés en 1856 par les inondations à Lyon attirèrent

l'attention du Gouvernement français sur ce travail. M. Vallée et son fils, ingénieur comme lui, furent chargés d'un rapport sur les moyens de retenir les eaux du Rhône à Genève pendant les crues exceptionnelles de ses affluents. Un projet complet d'utilisation de la force du Rhône à Genève découla de leur travail.

En 1869 M. l'ingénieur Lullin exposait un projet rationnel de création de forces hydrauliques sur le Rhône et l'Arve.

Sur ces entrefaites une grave question intercantonale venait presser les solutions.

Depuis près de deux siècles nos Confédérés vaudois se plaignaient à tort ou à raison du relèvement du niveau du lac, causé par les travaux exécutés dans le lit du Rhône à Genève. Ce conflit datant de 1698 passait à l'état aigu chaque fois que le niveau du lac atteignait une hauteur exceptionnelle du fait des circonstances météorologiques, ainsi dans les années 1698, 1738, 1748, 1752, 1782, 1792, 1816, 1817 et 1846.

En 1873, le gouvernement vaudois recourut aux lumières de deux experts choisis hors de Vaud et Genève, MM. Pestalozzi, professeur au Polytechnicum de Zurich et Legler, ingénieur du canal de la Linth.

La mission de ces experts était de constater l'exhaussement apporté aux niveaux d'hiver et d'été du Léman et de proposer les travaux nécessaires pour y porter remède.

Le 20 avril 1875 les experts présentèrent un rapport détaillé à l'appui d'un projet transférant le barrage de Genève et l'usine hydraulique de la ville en aval du pont de la Coulouvrenière. Le bras gauche du Rhône devenait canal industriel ; la force créée était estimée à 700 chevaux.

Le rapport des experts du canton de Vaud n'était

pas encore publié lorsqu'en juin 1875, MM. Achard et Turrettini, ingénieurs, et Louis Favre du Gothard demandaient à l'Etat de Genève la concession de la force motrice de l'Arve pour permettre le transfert des machines hydrauliques du Rhône sur l'Arve et la régularisation du niveau du Léman, par la suppression de divers barrages situés sur le Rhône à Genève. La force ainsi créée sur l'Arve devait être de 1200 chevaux. Ce projet soumis aux experts du canton de Vaud fut approuvé par eux, et l'Etat de Vaud proposa un traité intercantonal reposant sur l'exécution du projet de MM. Achard, Turrettini et Favre. L'Etat de Genève n'y donna pas suite.

Sur ces entrefaites, en 1876, venait de paraître un nouveau projet dû à la plume de M. l'ingénieur Ritter, de Neuchâtel, intitulé « Règlementation du niveau du « Léman et utilisation des forces motrices du Rhône « à Genève. » M. Ritter estimait la force disponible à 2133 chevaux en basses eaux et 7200 chevaux en eaux moyennes.

Un barrage était créé, tout en travers du Rhône, en aval du pont de la Coulouvrenière. Le projet présenté à l'Etat de Genève par MM. Ritter et Henneberg était soumis à des experts. La force créée devait être transportée par câbles télodynamiques dans le quartier de la Jonction.

Dans l'intervalle l'Etat de Vaud s'était décidé à porter sa cause devant la Tribunal fédéral en requérant de cette haute autorité une expertise pour constater la réalité et la gravité d'un trouble qu'il attribuait aux travaux genevois. L'Etat de Genève soutint dans un mémoire très développé que les travaux de Genève n'étaient pour rien dans les crues exceptionnelles du lac.

Pendant que se développait une volumineuse procédure, les événements se succédaient rapidement.

Le 26 juin 1878 le Conseil d'Etat de Genève présentait un projet de loi accordant à MM. Henneberg et C^{ie} la concession de la force motrice du Rhône. La Commission du Grand Conseil chargée de cette étude conclut à l'ajournement indéfini du projet, ce qui fut adopté.

L'affaire revint sur le tapis en 1881 par un nouveau projet de loi accordant la concession de la force motrice du Rhône à une Société représentée par MM. Lan, directeur de la Société Lyonnaise des Eaux, Henneberg et Karcher. La presse et l'opinion publique s'émurent fortement de cette main-mise sur une force qui jusqu'à ce jour avait été propriété de la ville de Genève. Les élections municipales de 1882 se firent sur cette question. Le projet de loi fut ajourné et le 30 septembre 1882 la ville de Genève obtenait la concession pour 99 ans de la force motrice du Rhône. Le projet étudié par la Municipalité genevoise visait à la fois :

1^o La création d'une force de 5 à 6000 chevaux dans la ville même, sur le bras gauche du Rhône.

2^o La régularisation du lac par l'établissement d'un barrage sur le bras droit du fleuve.

Le projet fut exécuté tel qu'il avait été présenté aux autorités. La force créée était de 5400 chevaux avec 18 turbines de 300 HP chacune. Les turbines actionnaient chacune un couple de pompes élevant l'eau à 140 m. La transmission de la force se faisait hydrauliquement. La première étape prévoyait l'établissement de cinq turbines seulement.

Les travaux commencèrent dans l'hiver 1883-1884 par la mise à sec du bras gauche du Rhône, et se poursuivirent jusqu'en mai 1886, date à laquelle eut

lieu la mise en marche des cinq premiers groupes de pompes et turbines.

En même temps était mis en service l'égout collecteur de la rive gauche du Rhône établi dans le lit même du fleuve, et qui amenait toutes les eaux contaminées de la rive gauche du Rhône en aval du Bâtiment des turbines.

Ce fut peu de temps après, en septembre de la même année que la Société Helvétiques des Sciences naturelles réunie, comme aujourd'hui, à Genève visita ces premières installations.

Sur ces entrefaites un accord était intervenu, par l'intermédiaire de l'Autorité fédérale, avec l'Etat de Vaud, pour faire exécuter dans le bras droit du Rhône les travaux destinés à régulariser le niveau du lac. Les travaux y relatifs furent exécutés dans l'hiver 1886-1887. Un barrage à rideaux, du système Caméré, fut établi sur le bras droit à la hauteur du pont de la Machine qui fut reconstruit. Le lit du fleuve fut approfondi jusqu'à la jonction du Rhône et de l'Arve.

Les variations de niveau du lac entre l'été et l'hiver étaient prévues de 0,^m 600 en années normales. Un règlement déterminait les manœuvres à faire au barrage de Genève pour obtenir ce résultat.

Le développement de l'utilisation de la force du Rhône fut si rapide que dès 1887 on dût prévoir l'achèvement du bâtiment des turbines de la Coulouvrenière et que, dès 1890, les 18 pompes et turbines étaient placées ou commandées.

Cette réjouissante progression de l'emploi de la force créée fut si rapide que, dès 1891, la Ville de Genève dut se préoccuper de créer des ressources nouvelles de force hydraulique, et en 1892 le Conseil municipal était nanti par le Conseil administratif d'un projet utilisant

une force de 10,000 chevaux environ, à Chèvres, sur le Rhône à 6 kilomètres à l'aval de Genève.

Là les conditions du fleuve sont différentes de ce qu'elles sont pour la première installation dont nous avons parlé. A Genève le Rhône sort pur du lac et son débit peut varier après la régularisation du lac, de 100 à 700 mètres cubes.

En aval de Genève le régime est complètement changé par les apports de l'Arve, rivière torrentielle qui descend du Mont-Blanc et dont les variations de débit vont de 20 mètres cubes, dans les grands froids de l'hiver, à 1200 mètres cubes dans les grandes crues exceptionnelles.

En outre les eaux de l'Arve toujours troubles charrient, en temps de crues, des galets en masses considérables.

Les conditions de chute que l'on pouvait obtenir à Chèvres variaient de 8 mètres, en basses eaux, à 5 mètres, en hautes eaux. La retenue devait être obtenue au moyen d'un barrage système Stoney, appuyé à la rive droite du fleuve.

Ce barrage se composait de 6 grandes vannes équilibrées du type de celles employées sur le canal de Manchester, mais avec des dimensions plus grandes encore, soit 10 mètres de largeur sur 7 mètres de hauteur. Le bâtiment des turbines joignant le barrage à la rive droite devait contenir 15 turbines dont la force minima en hautes eaux était de 800 chevaux chacune. Ces turbines devaient actionner directement des dynamos, toute la transmission de la force créée devant se faire par l'électricité, comme la transmission de force de la première usine s'était faite par pression d'eau.

Le projet fut exécuté d'après ce programme.

Les travaux commencèrent en janvier 1893 par les fondations du grand barrage, fondations entièrement dans la molasse compacte. La construction du barrage fut l'œuvre de la première campagne.

L'hiver 1893-1894 fut plus spécialement consacré aux fondations du bâtiment des turbines. Ce dernier, d'une longueur de 137 mètres, est également construit sur la molasse. Il est entièrement en béton.

Les turbines sont de deux constructions différentes, elles sortent toutes des ateliers Escher, Wyss et C^{ie} à Zurich.

Les cinq premières installées en 1895 et 1896 tournent à 80 tours par minute. Chacune de ces turbines, pour tenir compte des grandes variations de chute entre l'été et l'hiver, sont doubles et superposées. Les deux turbines sont construites en forme conique et sont du type à réaction.

Les roues directrices possèdent un dispositif d'aubes spéciales permettant un réglage à l'aide d'un vannage sectionné, à mouvement circulaire instantané donnant un réglage exceptionnellement prompt.

L'appareil de réglage hydraulique est à pression d'huile, et actionné par le régulateur.

Le régulateur centrifuge est à ressorts, oscillant sur tranches et à cataracte à huile; son action est très prompte.

Les résultats obtenus aux essais ont été les suivants: En cas de variation brusque de force, dans la proportion de 300 chevaux, le nombre de tours est descendu momentanément de 3 %. Dans le cas de décharge totale des deux turbines, l'écart a été de 3 à 5 % et dans l'espace de 4 à 5 secondes, la vitesse était redevenue normale.

Pendant la période de basses-eaux et de haute

chute la turbine inférieure seule est ouverte. La turbine supérieure tourne à vide avec le distributeur fermé.

Les turbines des groupes 6 à 15 sont d'une construction tout à fait différente.

Tandis que dans les cinq premières turbines l'eau attaque les turbines par l'intérieur, dans les dix dernières l'eau arrive par l'intérieur prenant un mouvement centrifuge.

Chaque groupe des dix turbines consiste en deux turbines superposées, mais chaque turbine a elle-même deux couronnes d'aubes motrices et deux couronnes d'aubes directrices. Lors de la haute chute d'hiver la double turbine inférieure est seule ouverte. Cinq de ces turbines donnent le meilleur rendement en hiver avec la haute chute et les cinq autres en été avec la faible chute.

Elles fournissent dans ces conditions une force variant de 850 à 1200 chevaux avec 120 tours par minute.

Il est adjoint à chaque groupe une pompe à huile avec coussin d'air et réservoir épurateur.

Les alternateurs sont également de diverses sortes. Les cinq premiers, fournis par la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève, en 1895 et 1896, d'une puissance de 1200 chevaux, sont montés directement sur l'arbre des turbines qui les commandent. Le type proposé en 1893 par la Compagnie de l'Industrie électrique était à induction unipolaire, système Thury. Ces alternateurs présentent l'aspect d'une cloche cylindrique de 4 m. 50 de diamètre et de 2 m. 20 de hauteur. La partie mobile est extérieure. Elle est formée d'une cloche en acier coulé qui produit le déplacement du flux magnétique. La partie fixe comprend le bâti supportant la culasse des deux inducteurs et des deux

induits, cet ensemble ayant la forme de deux cônes superposés à section en forme de C.

Les alternateurs sont construits pour pouvoir donner à volonté du courant monophasé ou du courant biphasé.

Ils fournissent à 80 tours par minute du courant à 2750 volts avec 45 périodes par seconde. Le débit atteint en pleine charge 150 ampères par phase.

Les dynamos 6 à 11 ont été fournis par la maison Brown Boveri et C^{ie}, à Baden. Ils peuvent absorber 1200 chevaux sous 120 tours avec 45 périodes. Le voltage peut être à volonté de 2750 ou 5500 volts.

Ces machines sont du type dit à parapluie.

L'armature est fixe. L'arbre porte la roue magnétique en fonte. Sur le cercle extérieur de cette roue sont montées les pièces polaires rayonnantes qui portent les bobines excitatrices.

Les bobines induites traversent les trous de l'armature fixe. Ces machines ont donné d'excellents résultats.

Les dynamos 12 à 14 ont été fournies par la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève. Elles sont également de 1200 chevaux, courant biphasé, 45 périodes avec 120 tours à la minute. Elles sont du type à pôles radiaux intérieurs mobiles et à induit extérieur fixe.

Enfin la dynamo n° 15, construite également à Genève est à courant continu. Elle est du type Thury à 12 pôles. Elle peut débiter 4000 ampères sous 208 volts.

Ces quinze machines sont excitées par trois dynamos à courant continu d'Oerlikon, marchant à 115 volts 750 ampères. Elles sont mues chacune par une turbine tournant à 150 tours.

Un grand tableau de distribution permet la manœuvre facile des diverses unités de l'installation.

La mise en marche de l'Usine de Chèvres a eu lieu au printemps 1896. Les trois premiers groupes de turbines et dynamos étaient seuls montés. Etant donné la nouveauté d'unités aussi puissantes, les résultats de rendement prévus ne purent être obtenus qu'après divers tâtonnements qui prirent fin en 1896 et dans la première moitié de 1897, mais l'usine fournit du courant sans interruption dès le printemps 1896, sauf une interruption de huit jours en 1898, du fait de l'incendie de la toiture qui a été reconstruite en béton armé.

La distribution du courant a été faite soit par câbles souterrains, soit par câbles aériens.

La Ville de Genève est plus spécialement raccordée à l'Usine de Chèvres par les câbles souterrains, tandis que la distribution du courant dans les campagnes se fait par voie aérienne.

La distribution souterraine est à 2750 volts et celle aérienne à 5500 volts.

La vente de la force motrice de l'Usine de Chèvres a suivi un développement aussi rapide que celle de la force disponible à l'Usine de la Coulouvrenière.

Dès maintenant la force totale de l'usine est engagée pour les services d'éclairage, des tramways, de distribution de force à diverses usines et d'électrochimie. Aussi dès l'année 1896, le Conseil administratif étudia la possibilité de créer une troisième usine de force motrice sur le territoire du canton de Genève en aval de l'Usine de Chèvres.

Les études furent poursuivies en 1897 et, vers la fin de cette année, la Ville de Genève demanda la concession de la force du Rhône à la Plaine, à 6 kilom. environ en aval de l'Usine de Chèvres.

La force sera créée par l'établissement d'un barrage

qui fera varier la chute de 13 mètres en hiver, à 8 m. en été lors des hautes eaux.

La force disponible sera de 15,000 chevaux pouvant être portée à 24,000 chevaux pendant neuf mois de l'année.

La crise sur l'industrie qui a sévi depuis la demande de concession a empêché les Autorités de donner suite à ce projet, mais sa réalisation n'est qu'une question de temps, et la prospérité de la Ville de Genève dépend de son exécution.

A l'heure actuelle, la Ville de Genève est, de toutes les villes, celle où la consommation d'eau, de gaz et d'électricité est la plus grande par tête de population.

Die atmosphärische Elektrizität auf Grund der Elektronentheorie.

Von Prof. Hermann EBERT (München).

Neuere Forschungen haben in der Luft, deren Zusammensetzung wir doch so gut schon zu kennen meinten, eine Fülle neuer Bestandteile kennen gelehrt, von denen neben den von W. RAMSAY entdeckten einatomigen Edelgasen, besonders die von ELSTER und GEITEL gefundenen sog. atmosphärischen « Jonen » oder « Elektronen » das Interesse weiter Kreise in Anspruch nehmen. Sind die übrigen Bestandteile, so weit unsere jetzige Kenntnis wenigstens reicht, an sich elektrisch indifferent, so sind die letzteren dadurch ausgezeichnet, dass sie elektrisch geladen sind; sie reagieren folglich auf die Kräfte, die von einem elektrischen Körper ausgehen, in ganz bestimmter Weise, während dies die elektrisch neutralen Teilchen nicht thun. Die Ladungen dieser Partikelchen sind wahrscheinlich nicht beliebige, zufällige, sondern sie sind für jedes Teilchen von einer ganz bestimmten Grösse. Schon HELMHOLTZ hatte aus dem Faraday'schen Gesetze der Elektrolyse, wonach eine bestimmte Elektrizitätsmenge immer an eine chemisch äquivalente Menge Materie

gebunden scheint, den Schluss gezogen, dass man sich die Elektrizität aus kleinsten, nicht mehr teilbaren elektrischen Mengen, den «Elementarquanten» bestehend denken müsse; haftet eines von diesen Quanten an der Valenzstelle eines materiellen Atomes oder Atomcomplexes, so macht es *das* aus, was wir ein elektrisches «Jon» nennen; das charakteristische desselben ist, dass bei ihm eine ganz bestimmte Quantität wägbarer Materie an eine zwar sehr kleine, aber doch wiederum ganz bestimmte Elektrizitätsmenge (von der Grössenordnung 10^{-10} El. stat. Einheiten) gebunden ist. Neuere Untersuchungen über Gasentladungen und die bei ihnen auftretenden Strahlungen, namentlich über die Kathodenstrahlen, haben gezeigt, dass die elektrischen Elementarquanten auch bei diesen Prozessen eine grosse Rolle spielen; die negativ geladenen Teilchen, aus denen z. B. die Kathodenstrahlen bestehen, besitzen eine Masse, die ca. 1000 Mal kleiner als die seit her bekannte kleinste Masse, nämlich die des Wasserstoffatoms ist, oder es kommt ihnen, nach den Untersuchungen von J. J. THOMSON, LORENTZ, KAUFMANN und ABRAHAM überhaupt nur eine scheinbare Masse zu. Da nämlich ein mit grosser Geschwindigkeit bewegtes elektrisches Teilchen einer Aenderung seiner Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit einen Widerstand entgegensetzt, so wird es vollkommen die Erscheinungen der Trägheit darbieten; ein für dasselbe charakteristischer Faktor wird mit der hervorgerufenen Beschleunigung multipliziert die zur Aenderung der Bewegung nötige Kraft darstellen; dieser Faktor spielt daher ganz die Rolle wie die Masse, selbst wenn wir uns das elektrische Teilchen an sich ohne Masse im gewöhnlichen Sinne vorstellen. Diese elektrischen Teilchen hat man «Elektronen» genannt zum Unter-

schiede von den « Ionen, » die erst dadurch entstehen, dass sich Elektronen mit Atomen oder Atomcomplexen verbinden.

Man hat diese Elektronen nicht nur im Innern von Entladungsröhren nachweisen können, sondern sie auch in Gasen angetroffen, die von *Röntgen-* oder *Becquerel-*Strahlen durchsetzt werden, oder nach *Lenard* auch in solchen, die sehr kurzwelliges ultraviolettes Licht absorbiert haben. Dass sie auch in der natürlichen Luft vorkommen, haben *ELSTER* und *GEITEL* dadurch nachgewiesen, dass sie einen elektrisch geladenen, gut isolierten Metallkörper, einen sog. « Zerstreungskörper » der Luft aussetzten; die an demselben auftretenden Ladungsverluste konnten wesentlich dadurch gesteigert werden, dass ein gleichnamig, bis zu derselben Spannung geladener Drahtkäfig um den Körper und das Elektroskop herum gesetzt wurde. Dies kann nicht durch die Wirkung von Staub, Rauch oder Feuchtigkeit erklärt werden, sondern wird nur verständlich, wenn man annimmt, dass durch den Käfig die ungleichnamig geladenen Elektronen angezogen werden und, in ihn hineingelangt, der Wirkung des im Innern befindlichen Zerstreungskörpers verfallen; da die wirksame Käfigoberfläche viel grösser als die des Innenkörpers allein ist, so muss der vom Käfig umschlossene Körper schneller entladen werden, als wenn er ohne Käfig wirkt, was die Beobachtungen vollkommen bestätigen. Auch gelingen in der freien Atmosphäre die auf negativ geladenen Drähten inducierten Radioaktivierungen vorzüglich, die so sehr charakteristisch für Gase sind, die durch Becquerelstrahlungen aktiviert, d. h. elektrisch leitend gemacht, mit Elektronen versehen worden sind.

Um die in der Luft an einem bestimmten Orte zu einer

bestimmten Zeit enthaltenen Elektronenladungen zu messen, hat der Vortragende einen Apparat, den er vorzeigt, konstruiert, bei dem ein bestimmtes Luftquantum durch einen Uhrwerksaspirator durch den Zwischenraum zwischen zwei conachsal in einander steckenden Metallzylindern gesaugt wird; der innere Zylinder sitzt direkt auf dem Elektroskope auf, der äussere dient als Schutzzylinder. Kennt man die Capacität des Systems und die Fördermenge in bestimmter Zeit, so kann man aus dem in dieser Zeit beobachteten, in Volt ausgedrückten Spannungsverluste (nach Anbringen einer kleinen Korrektion) auf die im Kubikmeter enthalten gewesene, in Form von Elektronenladungen gegebene Elektrizitätsmenge in absolutem Maasse schliessen. Der Apparat ist in hohem Grade frei von den Einflüssen des Windes und äusserer elektrischer Kräfte.

Schon die ersten Bestimmungen zeigten, dass der am Boden angetroffene Elektronengehalt wesentlich mitbedingt ist durch Vorgänge in den höheren Schichten der Atmosphäre und die in diesen auftretenden Zirkulationen; so ist bei Föhn der Elektronengehalt überhaupt nicht nur ein sehr grosser, sondern es hat auch eine merkliche Verschiebung der normalen Verteilung stattgefunden in dem Sinne, dass viel mehr + Elektronen als — Elektronen in der Föhnluft enthalten sind. Um diese Verhältnisse einer Klärung entgegen zu führen, hat der Vortragende bisher fünf Auffahrten mit den luftelektrischen Apparaten von Elster und Geitel und dem hier beschriebenen Aspirationsapparate im Freiballon unternommen; vier derselben wurden von Herrn Dr. R. EMDEN geführt und liessen Höhen von rund 4000 m. erreichen. Schon der grosse SAUSSURE hatte auf die Notwendigkeit hingewiesen, elektrische Messungen im Luftballon zu unternehmen, wenn man

das Wesen der luftelektrischen Erscheinungen erkennen will, und es wäre sehr zu begrüßen, wenn auch die Schweiz sich an den internationalen Auffahrten, welche allmonatlich von den verschiedensten Punkten Europas aus an genau vereinbarten Terminen unternommen werden, beteiligen wollte. In der That haben die Fahrten bereits manches aufgeklärt; freilich geht es hier wie so häufig bei der Erforschung der unendlichen Natur: wo ein Rätsel sich entschleiert hat, tauchen hundert neue Fragen und Probleme auf. Der Arbeit giebt es da noch genug zu thun.

Der Gehalt an Elektronen wächst im Allgemeinen mit der Höhe sehr rasch, so dass wir für die höchsten Schichten auf eine verhältnismässig sehr grosse elektrische Leitfähigkeit schliessen dürfen; diese müssen wir aber in der That annehmen, wenn wir Erscheinungen wie die Polarlichter erklären wollen. Vielleicht ist es die Durchstrahlung mit ultraviolettem Sonnenlichte, welche in diesen Regionen die Elektronen entstehen lässt.

In den tieferen Regionen der Atmosphäre finden wir meistens ein Ueberwiegen von $+$ Ladungen, was augenscheinlich damit zusammenhängt, dass der Erdkörper selbst negativ geladen ist und also die $+$ Elektronen zu sich heranzieht, die $-$ Elektronen aber fortreibt. Daher ist auch über Bergspitzen, in denen die Dichte der Erdladung besonders hohe Werte erreicht, eine überwiegende Anzahl von $+$ Elektronen vorhanden; wenn daher Föhn über die Gebirgskämme hinwegweht, bringt er diese ionenreiche Höhenluft mit ihrem überwiegenden Reichtum an $+$ Elektronen mit in die Täler.

Diese einseitige Verschiebung des Elektronengehaltes scheint auf den menschlichen Organismus eine

spezifische Wirkung hervorzurufen; P. Czermak, der diese Erscheinung bei Föhnlage in Innsbruck studierte, ist geneigt, die sog. Föhnkrankheit, die sich bei sensiblen Personen einstellt, und für die seither jeglicher Erklärungsgrund gefehlt hat, damit in Zusammenhang zu bringen. Sehr instruktiv sind in dieser Beziehung auch die diesbezüglichen Ergebnisse der Monte-Rosa-Expedition zur Erforschung der Bergkrankheit, über die jüngstens CASPARI berichtet hat. In Hohlräumen, Höhlen und Spalten, die zwar mit der äusseren Atmosphäre kommunizieren, die aber doch ein ziemlich ruhig stehendes, stagnierendes Luftquantum beherbergen, kann der Elektronengehalt bis zu extrem hohen Werten ansteigen; hier kann auch aus später zu erwähnenden Gründen ein Auswandern der — Elektronen und ein immer stärkeres Ansteigen im Gehalte an + Elektronen stattfinden. Solche halb abgeschlossene Räume, Couloirs u. dergl. sind es aber nun, die nach der Erfahrung vieler Bergführer besonders leicht zu dem Erscheinungskomplexe der Bergkrankheit Veranlassung geben, ohne dass ihre Meereshöhe oder die sonstige Luftbeschaffenheit in ihnen zu dieser Wirkung prädisponieren könnte. In der That fand Caspari mit dem Elster-Geitel'schen Zerstreuungsapparate in einem wegen Bergkrankheit berüchtigten solchen Couloir am Monte-Rosa einen ungeheuer gesteigerten Elektronengehalt.

Der Satz, dass in den höheren, reineren Schichten der Atmosphäre der Elektronengehalt ein grösserer sei als in den tieferen, gilt nicht ausnahmslos und er kann augenscheinlich auch gar nicht ganz allgemein gelten. Wenn im Hochsommer eine Hochfläche oder der Südabhang einer Hochgebirgskette andauernd und intensiv von der Sonne bestrahlt wird, bilden sich auf-

steigende Luftströme aus, die die Luft, die längere Zeit mit dem Erdboden in Berührung gewesen ist, emporheben; es bildet sich ein System auf- und absteigender Zirkulationen aus, bis eine dem adiabatischen Gleichgewichte entsprechende Temperaturverteilung mit der Höhe hergestellt ist. Jedesmal wenn Luft mit der leitenden Erdoberfläche in Berührung kommt, wird ein Teil der Elektronen an diese abgegeben, und dadurch wird die ganze Luftschicht allmählich gewissermassen an Elektronen ausgelaugt. Wir konnten dies bei zwei Sommerfahrten im Juni und Juli sehr deutlich wahrnehmen, die wir von München aus am frühen Morgen unternahmen, nachdem die vorhergehenden Tage hindurch die Sonne sengend auf unsere oberbayrische Hochebene gebrannt hatte. Während der Nacht hatten sich die dem Boden unmittelbar anliegenden Schichten stark abgekühlt, so dass wir nach oben hin zunächst nicht abnehmende Temperaturen fanden, wie es der normale Fall bei Ballonfahrten ist, sondern zunehmende, also eine sog. Temperaturumkehr antrafen; als wir dagegen in die während der vorigen Tage vom Boden aus erwärmten und von diesem aus aufgestiegenen Luftschichten eintraten, sank die Temperatur um rund $1^{\circ}\text{C. pro } 100\text{ m.}$ Erhebung, eine Grösse, die das adiabatische Gleichgewicht charakterisiert. In dieser Schicht fanden wir nun in der That fast genau die gleichen luftelektrischen Verhältnisse wieder, wie sie an den vorhergehenden Tagen an verschiedenen Stationen mit genau verglichenen Instrumenten am Boden aufgezeichnet worden waren. Diese Schicht kann im Sommer bis 2000 m. und höher hinauf reichen.

Aber auch darüber hinaus ist die Elektronen verteilungsdurchaus keine so einfache, dass man etwa schon jetzt aus den gefundenen Werten auf die elektrische

Leitfähigkeit extrapolieren könnte, wie sie in jenen Regionen herrschen muss, in denen sich die Polarlichterscheinungen hauptsächlich abspielen, die sich nach älteren und neueren Beobachtungen häufig bis in unsere Breiten herab erstrecken. Das Interesse der Meteorologen wird in neuester Zeit durch das Phänomen einer eigentümlichen Schichtung in Anspruch genommen, welche die gesamte Luftsäule über uns derart abteilt, dass die charakterisierenden meteorologischen Elemente, namentlich Temperatur und Wasserdampfgehalt sprungweise ihre Werte ändern, wenn man von der einen zur andern Schicht übertritt. Diese Schichtungen haben für die Wolkenbildung und damit für die klimatologischen Verhältnisse die grösste Bedeutung. Im Luftballon spürt man gewöhnlich sehr deutlich, wenn man in eine andere Luftschicht gelangt; eine plötzliche Aenderung der Fahrtrichtung und Fahrgeschwindigkeit ist meist damit verbunden, bedingt durch die andere Richtung und andere Windgeschwindigkeit in der neuen Luftschicht. Bemerkenswert ist nun, dass wir jedesmal mit diesem Eintreten in eine neue Luftschicht auch eine sprungweise Aenderung im Elektronengehalte und in dem Verhältnisse, in welchem $+$ und $-$ Ladungen in ihr gemischt auftreten, bemerkt haben; jede Luftschicht ist also wie durch eine bestimmte Temperatur und Feuchtigkeit, so auch durch bestimmte elektrische Eigenschaften charakterisiert, die hauptsächlich durch ihre Herkunft bedingt erscheinen; so sind die von den Alpen her strömenden Luftschichten anders beschaffen, als die gegen das Gebirge anlaufenden Strömungen.

Aber auch noch aus ganz andern Gründen musste die Erforschung des Elektronengehaltes der höheren Luftregionen mit dem Luftballon von besonderem Inte-

resse sein. Nach den eingehenden Untersuchungen von C. T. R. WILSON konnte es nicht mehr zweifelhaft sein, dass die in der Luft befindlichen Elektronen eine bedeutungsvolle Rolle bei allen atmosphärischen Kondensationsprozessen spielen. WILSON befreite zunächst die in einem grösseren Raume abgeschlossene, mit Wasserdampf gesättigte Luft durch wiederholte Kompressionen und darauf folgende Expansionen von allen Staubteilchen, die bei den letzteren als Kondensationskerne dienen und sich mit der gebildeten Nebelwolke nieder senken; aber auch dann noch tritt erneute Kondensation ein, wenn die Uebersättigung mit Wasserdampf zwei ganz bestimmte Grenzwerte erreicht. Es zeigte sich weiter, dass diese Grenzwerte dieselben waren und nur noch deutlicher hervortraten, wenn die eingeschlossene Luftprobe durch Bestrahlung mit Röntgen-, Becquerel- oder Ultraviolett-Strahlen künstlich ionisiert war, und dass es die *Elektronen selbst* sind, die als Kondensationskerne fungieren; besonders wichtig ist, dass der Wasserdampf sich auf den *negativen* Elektronen leichter, d. h. schon bei geringeren Uebersättigungen niederschlägt als auf den positiven, und dass daher bei fortschreitender Kondensation *zuerst die negativen Partikelchen* niedergeschlagen werden, dann erst die positiven. Neuere meteorologische Forschungen haben dargethan, dass weitgehende Uebersättigungen auch in der freien Atmosphäre nichts seltenes sind; der Gehalt einer Luftschicht, in der soeben Kondensation eintritt, an freien Elektronen muss daher für die Wolkenbildung in derselben von grosser Bedeutung sein. Dreierlei Arten von Kondensationskernen müssen wir in der Luft als vorhanden voraussetzen: erstens Staubpartikelchen, auf denen sich der Wasserdampf schon bei den geringsten Uebersätti-

gungen niederschlägt; sie liefern mit diesem zu Boden fallend elektrisch neutrale Niederschläge. Sodann werden bei weiterer Kondensation zuerst die negativen Elektronen als Kerne dienen und die die Erdoberfläche erreichenden Niederschläge werden negative Ladungen mit herab bringen. Erst wenn die Uebersättigung sehr weit gegangen ist, werden auch + Ladungen aus der Höhe mit herabgebracht. Hierdurch erklären sich die wechselnden Vorzeichen in den Ladungen, welche die atmosphärischen Niederschläge bei einem Regenschauer oder bei einem Gewitter aufweisen. Dieselben können erstens trotz hoher elektrischer Spannungen am Boden elektrisch neutral sein; elektrisch neutrale fand LENARD auch unter den Partikelchen, welche von ultravioletten Lichtstrahlen in Gasen hervorgerufen werden und die Nebelwolken, die er in ultraviolett durchstrahlter, mit Wasserdampf gesättigter Luft erzeugte, erwiesen sich, als sie sich auf einem mit dem Elektrometer verbundenen Metallteller niederliessen, elektrisch ungeladen.

Aber die mit der bei diesen Untersuchungen im Freien dringend gebotenen Vorsicht angestellten, eingehenden Untersuchungen von Elster und Geitel über die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge haben ganz unzweifelhaft das Ueberwiegen negativer Ladungen in denselben dargethan. Wenn ferner z. B. nach einer klaren Nacht am Morgen Thaubildung eintritt, geht die Zahl der — Elektronen an der Erdoberfläche herab. Unsere Elektronenzählungen in den höheren Schichten liefern die Hilfsmittel auch der quantitativen Seite der Frage näher zu treten. Schon in der Cumulusschicht, in etwa 3000 m. Meereshöhe, fanden wir wiederholt Elektronenmengen, welche die an der Erdoberfläche um das vier- und mehrfache übertreffen. An

der Erdoberfläche findet sich unter normalen Witterungsverhältnissen bei uns rund *eine* elektrostatische Mengeneinheit freier Elektrizität im Kubikmeter, wie schon erwähnt, etwas mehr freie + Elektrizität als freie — Ladung. Mit der Höhe gleicht sich diese Unipolarität mehr und mehr aus, mit gleichzeitiger Zunahme der absoluten Ladungsmenge; in 3 km. Höhe haben wir mehr als 4 El. stat. Einheiten im Kbm. Nun berechnet z. B. V. CONRAD auf Grund der ELSTER-GEITEL'schen Messungen der elektrischen Ladungen der atmosphärischen Niederschläge die in 1 gr. Wasser einer Cumuluswolke enthaltene Elektrizitätsmenge zu $\frac{1}{36} 10^{-8}$ Coulomb¹. In einer dichten Wolke, in der man nur 18 Meter weit sehen konnte, waren nach Messungen von CONRAD, 5 gr. Wasser im Kubikmeter, also etwa $\frac{1}{7} 10^{-8}$ Coulomb Ladung vorhanden. Nimmt man den erwähnten Wert von 4 El. stat. Einheiten oder $\frac{4}{3} 10^{-9} = \frac{4}{30} 10^{-8}$ Coulomb negativer Elektrizität an, so würde bereits diese Elektrizitätsmenge ausreichen um die beobachtete Niederschlagselektrizität auch quantitativ zu erklären.

Im Allgemeinen wird nur ein Bruchteil der vorhandenen Elektronen durch den Kondensationsprozess ausgefällt werden. Denken wir uns aber an der Kondensation zunächst nur die negativen Elektronen beteiligt, so werden diese durch die Wasserhüllen beschwert; sie sinken als Regen nieder; es bleibt dann den Messungen zu Folge etwa die gleiche Menge positiver Elektrizität pro Kbm. in der Wolke zurück. Geben wir z. B. dem genannten Cumulus nur 1 km. Radius, so wird er bei kugelförmiger Form mit 3 km. Mittelpunktsabstand von der Erdoberfläche an dieser ein Potentialgefälle

¹ V. CONRAD, Wiener Berichte 111, Abt. II a., p. 342. 1902.

von ca. 11000 Volt pro Meter Erhebung durch seine Eigenladung hervorrufen, wie CONRAD gleichfalls zeigt. Dies sind aber Werte wie sie thatsächlich bei Gewittern an der Erdoberfläche beobachtet werden. Bedenken wir dass bei diesem Gefälle ein 500 m. über dem Erdboden in der Luft befindlicher Punkt gegen die Erde bereits einen Spannungsunterschied von fünf und eine halbe Millionen Volt aufweisen würde, so werden wir hier unmittelbar auf Spannungen geführt, wie wir sie bei dem gewaltigsten elektrischen Prozesse der Atmosphäre, bei dem Gewitter sich ausgleichen sehen. Bereits 1887 berechnete LINSS wie ungeheure elektrische Kräfte wachgerufen werden, wenn die in einer Wolke von ihm vorausgesetzten Ladungen durch grössere Strecken hindurch räumlich getrennt würden, und dass sich uns hier Energiequellen aufthun, die bei weitem ausreichen um die gewaltigsten Gewittererscheinungen zu erklären. Die Elektronentheorie giebt uns nun, wie gezeigt, eine überraschend einfache Erklärung für diese Ladungen und die Elektronenfänge lieferten Ausbeuten, welche der Grössenordnung nach vollkommen ausreichen um die Erscheinungen *auch quantitativ* zu erklären.

Und endlich das letzte Problem, welches sämtlichen älteren Theorien völlig unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen stellte, beginnt sich vom Standpunkte der neuen Theorie aus allmählich zu lichten: das Problem, die dauernde Eigenladung des Erdkörpers und die Thatsache des elektrischen Spannungsfeldes über ihm, d. h. die sog. Schönwetterelektrizität zu erklären. Schon den älteren Beobachtern wurde klar, dass der Erdboden gegenüber dem Luftraum immer eine elektrische Ladung besitzt, auch wenn von einer Gewitterstimmung im Luftkreise keine Rede sein konnte, also

bei typischem «schönen Wetter». Bei diesem erwies sich der Erdkörper negativ geladen gegenüber der umgebenden Luft; nur bei wolkigem, regnerischen, zur Gewitterbildung neigenden Wetter schlägt das Vorzeichen der Erdladung gelegentlich, aber nur auf kurze Dauer um. Zur Erklärung dieser elektrischen Eigenladung der Erde sind die verschiedensten Theorien aufgestellt worden, ohne dass irgend eine genügt hätte. Die Eigenschaften der Elektronen geben einen ganz neuen Gesichtspunkt, von dem aus das Problem überraschend einfach erscheint. Die $+$ und die $-$ Elektronen unterscheiden sich überall, wo sie auftreten, durch die Verschiedenheit ihrer *Wanderungsgeschwindigkeit*; die $-$ Elektronen wandern unter der Wirkung einer bestimmten elektrischen Kraft viel schneller, sie sind leichter beweglich als die $+$ Elektronen, die mit einer grösseren Menge träger Masse bepackt erscheinen. Dagegen scheinen beide Arten mit derselben Elektrizitätsmenge geladen zu sein, die sich nur durch das Vorzeichen bei ihnen unterscheidet. Wenn nun ein solches elektrisches Teilchen in die Nähe einer leitenden Fläche, etwa in die Nähe des Erdbodens oder der auf diesem befindlichen, mit ihm in leitender Verbindung stehenden Gegenstände kommt, so influenziert es an diesen eine Oberflächenladung von umgekehrtem Vorzeichen, welche das vorüberziehende Teilchen anzieht. Diese anziehende Kraft, welche direkt proportional dem Quadrate der Ladung und umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes des Teilchens von der leitenden Fläche ist, beeinflusst Elektronen beider Arten in gleicher Weise; aber die negativen vermögen elektrischen Kräften leichter und schneller Folge zu leisten als die positiven. In der Zeiteinheit werden also bei gleichem Gehalte der Luft an $+$ und

— Elektronen immer mehr — Elektronen an die Flächen gelangen als + Elektronen und hier ihre Ladungen abgeben. Dieser Prozess wird auf Bergen oder an den Spitzen von Bäumen u. dgl. von untergeordneter Bedeutung sein, da dort die Spitzenladungen des negativen Erdkörpers die — Elektronen forttreiben und überwiegend viele + Elektronen ansammeln, wie wir vorhin sahen. Es giebt indessen an der Erdoberfläche viele Stellen, an denen die Eigenladung wirkungslos in Bezug auf die in der Luft befindlichen Teilchen ist, und daher die genannte Einwanderung negativer Elektrizität ungestört von Statten gehen kann; dies sind alle Hohlräume, wie sie insbesondere unter dem ausgebreiteten Blätterdache der Vegetation in ausgedehntester Masse vorhanden sind, wie sie aber auch von allen Höhlen, Spalten und Klüften gebildet werden. Hier geben die darüber ragenden Teile und Spitzen einen sehr vollkommenen elektrostatischen Schutz gegenüber dem elektrischen Erdfelde, welches sich ja dem Einwandern von — Elektrizität in den — geladenen Erdboden entgegenstellen würde. Wir haben Anzeichen dafür, dass in der That namentlich die Vegetation eine grosse Rolle bei den luftelektrischen Prozessen spielt und dass der angedeutete Prozess auch quantitativ ausreicht, um die Erdladung in der angegebenen Weise zu regenerieren. Eine solche Regenerierung muss aber stattfinden, da die Luft ja kein vollkommener Isolator ist und die durch die Wanderung der Elektronen bedingte Leitfähigkeit einen fortwährenden Ausgleich der Erdladung und des atmosphärischen Spannungsgefälles bedingt.

Viel liesse sich noch sagen über Beziehungen dieses Gefälles zur Leitfähigkeit der Luft und dem Elektroengehalte, worüber schon ein ziemlich umfangreiches

Beobachtungsmaterial vorliegt, das neue interessante Perspektiven eröffnet. Ein Eingehen hierauf würde indess an dieser Stelle zu weit führen; freuen wir uns in der Elektronentheorie der atmosphärischen elektrischen Prozesse einen Gesichtspunkt gewonnen zu haben, der viele zum Teil Jahrhunderte alte Probleme der Lösung entgegenzuführen verspricht und zu weitergehenden Studien auf diesem vielumstrittenen Gebiete auf's intensivste anregt.

Les grandes dislocations et la naissance des Alpes suisses

par M. le prof. MAURICE LUGEON (Lausanne).

Un des plus grands naturalistes parmi les nombreux savants dont Genève s'honore, un des hommes qui a le mieux connu les Alpes, et vous devinez que je pense à de Saussure, a écrit, à la fin d'un de ses livres, les lignes suivantes «...j'ai reconnu qu'on pouvait presque assurer qu'il n'y a dans les Alpes rien de constant que leur variété.» Cette déclaration résume à la fois le caractère et l'œuvre de l'homme. On y saisit la prudence de l'observateur, mais on y voit aussi son immense érudition.

Que les temps sont changés. Dans quelle admiration cet infatigable travailleur ne serait-il pas plongé si, revenant parmi nous, il voyait la tâche accomplie. Mais quel effort cela représente-t-il !

Dans le sillage lumineux laissé par l'illustre Genevois, voyez cette cohorte d'hommes qui se précipitent à la conquête scientifique des Alpes suisses. Voici J. Conr. Escher, un admirable esprit, voici Léopold de Buch, voici Ebel qui, par son œuvre : *Ueber den Bauder Erde*, ouvre une époque nouvelle. Escher et lui ne craignent

pas de modifier la classification dogmatique de l'école de Freiberg.

Mais nous en sommes encore à la période héroïque. La découverte de W. Smith, qui dotait la géologie de sa méthode moderne de classification des terrains, n'allait pas tarder à être appliquée dans les Alpes. Il appartenait à un des compatriotes du célèbre ingénieur anglais, à Buckland et au Français Brongniart l'honneur de définir dans les Alpes l'échelle stratigraphique. Aussi, avec l'année 1821, s'ouvre une nouvelle période, celle de la stratigraphie moderne.

Puis arrive B. Studer, le Bernois, un de nos plus grands géologues, qui, sous les conseils de Schlotheim, accomplit en neuf années une œuvre admirable, la géologie des Alpes occidentales. Quelle distance entre de Saussure et Ebel et entre ce dernier et Studer ! Les plis commencent à être vus, dessinés, compris, telle en prouve la loi de Studer sur les couches en forme de C. Le professeur de Berne avait comme collègue un homme qui a précédé son temps. Il tenait de race, ce savant aussi distingué que modeste, Arnold Escher. C'est lui qui a compris le premier les dislocations fantastiques des Alpes glaronnaises. Ce fut un de nos plus grands géologues.

Voici un deuxième Genevois, Alphonse Favre, ce digne successeur de de Saussure, qui fit faire tant de progrès à la stratigraphie et dont l'œuvre est si charmante à étudier. Ce fut aussi un grand lutteur. Celui qui ne se souviendrait pas avec respect de ce tournoi qui eut comme champ clos Petit Cœur en Savoie serait un ingrat. Enfin, citons encore ces grands travailleurs, autres géants dans ce groupe d'Hercules de la science, Theobald le Grison, Kaufmann le Lucernois, Gerlach, que nous pouvons bien revendiquer comme un des

nôtres; il fut, à mes yeux, l'un de nos plus remarquables géologues, l'un de ceux dont la sûreté de vue reste comme un des plus brillants exemples.

Et je m'arrête, et cependant je n'ai pas mentionné tous ceux qui méritent de l'être. J'arrive à ceux qui ont collaboré et vu s'achever cette œuvre magistrale que vous avez devant les yeux, cette superbe carte géologique de la Suisse au 1 : 100,000. De ceux-là, ces vénérables maîtres, plusieurs sont ici dans cette enceinte. Ils ont accompli, ces disparus et ces vivants, une œuvre colossale. Voici, du reste, le jugement d'un de leurs contemporains¹ : « La géologie des Alpes est peut-être de toutes les sciences celle qui exige de la part de ses adeptes la plus grande abnégation. »

Je salue avec respect, en votre nom et au mien, tous ces hommes, tous ces prédécesseurs. Nous répondons affirmativement à ces mots écrits par un ancien géologue et que Studer a jadis rappelés «...je me borne à demander à ceux qui se préparent à nous succéder, de nous savoir gré des efforts que nous avons faits pour leur préparer la voie, et, sous ce rapport, de faire mention de nous dans l'histoire des progrès de l'esprit humain. »

Aujourd'hui une page nouvelle s'ouvre encore. Une conception bien différente de la chaîne s'impose. Elle vient de naître et de tous côtés arrivent les adhésions. Ce n'est donc pas avec la prudence et la crainte de l'énoncé hypothétique que je me présente devant vous, mais avec la force et la foi que l'on puise dans la théorie où l'on voit de simples prévisions se confirmer les unes après les autres et où tout s'encadre à merveille dans le tracé des grandes lignes.

¹ Desor, Nouvelles excursions et séjours, 1845, p. 224.

² Dolomieu, Rapport des voyages, Journal des mines VII, p. 432.

Aujourd'hui la théorie du plissement sur place, du bombement autochtone est en partie remplacée par celle des grandes nappes de recouvrement. Dans nos montagnes nous constatons que d'immenses portions ont été transportées, parallèlement à la surface du globe, à d'énormes distances. Tout le front de la chaîne alpine, à partir de l'Arve jusque très loin vers l'est, dans les Alpes orientales et plus loin encore dans les Carpathes, tout ce front, que vous contemplez et que vous considérez comme une muraille bien fondée, est au contraire formé par des masses qui ne sont pas dans leur position originelle, mais qui proviennent de l'intérieur des Alpes, souvent de très loin : ce sont les replis frontaux, les plus avancés vers le nord, de grandes portions jadis mobiles de l'écorce terrestre.

Comment le géologue peut-il montrer que des montagnes, par exemple celles qui avoisinent Genève, comme les Voirons, le Môle, qui paraît une pyramide si bien enracinée sur sa base, Marcelly, etc., sont venues du sud, d'au delà du massif du Mont-Blanc ? L'énoncé même de l'idée ne paraît-il pas sa propre condamnation au bannissement ?

Dans les Alpes de Glaris, le professeur Heim, ce grand maître de la géologie, confirmant les idées de Escher, avait, à l'étonnement du monde scientifique, prouvé que d'immenses régions montagneuses reposaient sur une base formée par des roches plus récentes que celles qui constituaient les hauts. Ces grands renversements se seraient exécutés par un mouvement du nord au sud, à l'inverse de celui que l'on constatait dans la chaîne qui sépare les vallées de Glaris de celle du Rhin. Ce phénomène était désigné sous le nom de double-pli de Glaris.

En 1834, cette célèbre théorie des Alpes glaron-

naïses fut contestée par un homme génial, M. Marcel Bertrand, qui supposait que toute la masse supérieure provenait de plis poussés du sud au nord. Cette remarque ne suffit pas à ébranler la foi du grand géologue zurichois, la preuve n'était pas faite. En 1893, M. Schardt fit sienne cette hypothèse de grands mouvements vers le nord en l'appliquant aux Préalpes romandes, ces montagnes situées entre l'Arve et l'Aar. Quelque temps après, je donnais une démonstration absolue pour la région de la Brèche du Chablais, mais l'ensemble des Préalpes restait fortement contesté.

Les choses en étaient là, quand l'année dernière, quelques savants français me demandèrent de les conduire dans le Chablais, afin d'étudier sur place ces phénomènes. Ils vinrent une vingtaine, partisans et adversaires. Ce furent de rudes journées. Presque tous furent convaincus, mais plusieurs, et non des moins éminents, gardèrent leurs positions. Que faire, sinon trouver des arguments péremptoires ?

En recherchant si ces phénomènes s'étaient propagés ailleurs¹, j'arrivais à montrer qu'ils n'étaient pas propres au Chablais, que l'ensemble du front nord des Alpes en avait été victime, puis que d'immenses régions gneissiques de l'intérieur prenaient part aussi à ces immenses marches vers le nord. Et, chose curieuse, les preuves absolues se trouvaient justement là où l'on n'avait jamais été les chercher, parce que l'on ne se figurait pas que ces territoires que j'analysais à nouveau avec l'idée du charriage avaient été victimes de ces phénomènes que nous montrions dans le Chablais.

¹ Lugeon, Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse (*Bull. Soc. géol. de France*, 1901, 4^{me} série, t. I, p. 723 à 825).

Et alors, la théorie, prenant une ampleur inattendue, prenait en même temps une telle puissance, que le doute ne pouvait plus subsister chez les incrédules. Ces gigantesques mouvements horizontaux vers le nord, que l'on ne voulait admettre lorsqu'ils étaient localisés, devenant une loi générale, il fallait ou tout refuser ou tout accepter. Et l'on a vu ce fait intéressant pour l'histoire des sciences : des arguments qui paraissaient inadmissibles parce que les conclusions que l'on en tirait semblaient trop exagérées, furent admis lorsque l'exagération de ces conclusions fut démontrée plus grande encore.

Une page nouvelle est ouverte. Voyons ce que nous pouvons y lire. Je suppose que les problèmes du Chablais soient démontrés, que dans cette région, et celle qui s'étend jusqu'à l'Aar, il y ait là des régimes de montagnes faisant partie de plusieurs énormes nappes de recouvrement venues du sud, c'est-à-dire de grandes masses plissées superposées venant de l'intérieur de la chaîne, après une marche de bien des dizaines de kilomètres. Ces masses reposent en effet partout sur des terrains plus jeunes qu'elles, et toute la méthode consiste à faire cette démonstration ailleurs.

Mon cher maître, M. Renevier, a montré que le massif de Morcles était formé par un grand pli couché. Plus loin, en me basant sur ses travaux, je montre qu'une deuxième immense vague de l'écorce terrestre s'est superposée à cette première et forme le massif des Diablerets. Enfin, plus loin vers l'est, à la suite de longues recherches dans les solitudes du massif du Wildhorn, je montre qu'une troisième nappe, plus grande encore, toujours venue du sud, monte du Valais pour redescendre et s'enfouir sous les Préalpes. Enfin une quatrième, plus exagérée encore, grimpe sur

les autres, s'étale en même temps qu'elle se morcelle sur les régions désertes des Wildstrubel et plonge brusquement dans la zone interne des Préalpes, dont elle forme une des parties.

Il y a dans cette succession de grandes nappes empilées deux faits dont l'importance est capitale. D'abord, elles vont s'exagérant de la plus basse à la plus élevée, puis l'une d'elle, la dernière visible, forme une partie des Préalpes. Ainsi donc celles-ci ne sont pas si étrangères, comme nous l'avons tous cru, à la chaîne calcaire où règnent les terrains à faciès dit helvétiques. Elles ne sont que le produit d'un même phénomène. Et bien qu'un style tectonique différent de celui des Hautes-Alpes semble régner dans les Préalpes, cette variation n'est due qu'à l'exagération d'une même action mécanique.

Ces gigantesques vagues de pierre, qui déferlent vers le nord, forment, par leur empilement, cette haute-chaîne calcaire qui sépare le canton de Berne de celui du Valais et qui se continue en avant du groupe du Finsteraarhorn. Rien n'est plus impressionnant que de contempler ces montagnes d'un de leurs sommets quand on a dévoilé les secrets de cette nature grandiose. Malgré la vie rude que le géologue doit supporter là-haut — j'ai dû vivre sous la tente ou dans de misérables huttes que je me suis construites — la récompense vaut plus encore que l'effort accompli.

Arrivé à ce point de la démonstration, en ce qui concerne la Suisse occidentale, sachant aussi que dans la région du Mont-Joly en France, de semblables phénomènes ont été étudiés et décrits magistralement par un jeune Genevois, M. E. Ritter, le redoutable problème du double-pli de Glaris peut être affronté

avec chance de succès. L'admirable méthode de comparaison appliquée avec tant d'éclat par les Marcel Bertrand et les Suess ne peut faillir. S'il devient alors impossible d'admettre le double-pli, cela ne suffit pas cependant. La géologie n'est plus une science conjecturale ; il faut des preuves.

Ces preuves n'ont pas été difficiles à trouver. Les matériaux abondaient, récoltés avec tant de soins par le professeur Heim et ses élèves. Il n'y avait plus qu'à cueillir dans cette superbe moisson. C'est ce que j'ai fait. Je quitte cette enquête avec plus d'admiration encore que j'en avais pour cette œuvre si féconde, due au grand maître zurichois, le « Mechanismus der Gebirgshildung ». Dans cet ouvrage, si justement célèbre, sans les travaux d'un des plus brillants élèves de M. Heim, mon ami M. Burckhardt, il n'eût pas été possible de faire la preuve ; la tâche eût été trop grande pour un seul, je m'en suis bien vite aperçu sur le terrain.

Aujourd'hui c'est chose faite. M. Heim a donné son consentement ; mon cher maître m'a apporté le secours et l'appui de son opinion nouvelle. Toutes les Hautes-Alpes calcaires de la Suisse, qui s'étendent, formant le front de la chaîne, du lac de Thoune au Sentis sont bien des montagnes charriées. Elles font partie de grandes nappes de recouvrement et elles reposent entièrement sur des terrains plus jeunes qu'elles. Ces nappes sont au nombre de deux principales qui se digitent dans leurs parties frontales en grands plis couchés indépendants. Tout l'ensemble vient du sud. Le mouvement horizontal dépasse 30 kilomètres. A l'est du Rhin, ces gigantesques phénomènes disparaissent de la surface du sol. Ils se continuent en profondeur, et sans doute ces plis disloqués à faciès hel-

vétique, que l'on voit pointer dans le Flysch de Bavière, ne représentent qu'une ondulation superficielle de ces grandes nappes des profondeurs.

Mais sur cet ensemble de nappes, qui s'enfoncent sous les Préalpes à l'ouest, on trouve des fragments de ces dernières, à l'état de débris morcellés, comme le Stanzerhorn, les Mythen, etc. Et, plus loin, à l'est du Rhin, les montagnes du Falknis représentent la continuation de ces énormes nappes préalpines. Si la preuve absolue, tangible, de la non existence de racine ne peut être faite pour les Préalpes médianes, entre l'Arve et l'Aar, elle peut l'être pour le Falknis. En effet ici les érosions sont plus profondes et partout nous voyons sous ces dernières montagnes régner les terrains les plus jeunes.

Et ce n'est pas tout. Cette nappe du Falknis est elle-même surmontée par une autre grande masse venue aussi de l'intérieur de la chaîne. Cette nappe, la plus supérieure, forme tout le Rheticon et les Alpes triasiques de Bavière. Elle représente la nappe de la Brèche du Chablais ; elle a la même position tectonique.

Où se trouvent les racines, c'est-à-dire le lieu d'origine de toutes ces masses superposées ? Il est facile de montrer que toutes les nappes de recouvrement à faciès helvétique viennent de la première zone alpine, c'est-à-dire représentent la couverture sédimentaire des massifs cristallins tels que le Mont-Blanc, le Finsteraarhorn et le Gothard. Les autres viennent de régions plus internes. On peut suivre, dans les Grisons, le bord de la nappe du Rheticon. On la poursuit très loin par l'Oberhabstein. Ainsi, puisque soit la nappe du Falknis, soit celle du Rheticon, représentent dans l'est ce que sont les Préalpes médianes et les régions de la Brèche du Chablais et de la Hornfluh dans l'ouest, il

devient à peu près évident que les grandes nappes préalpines viennent du versant sud de la chaîne. Selon le grand processus qui paraît avoir été suivi par ces mouvements immenses, ces nappes, les plus éloignées vers le nord, doivent provenir des régions les plus méridionales.

Le chemin parcouru par ces nappes préalpines est considérable. Mesuré sur les Alpes actuelles il atteint environ 80 kilomètres, mais si l'on essaye de développer les plis, de placer côte à côte dans leur position primitive ces masses qui sont actuellement superposées, on arrive à des valeurs dépassant plusieurs centaines de kilomètres. Si l'on contractait actuellement sur eux-mêmes les territoires méditerranéens entre Alger et les côtes de France, avec la même intensité que celle qui a présidé à la formation des Alpes, la chaîne qui se construirait ainsi ne dépasserait peut-être pas la largeur de nos montagnes entre la région molassique suisse et la plaine du Piémont !

Nous pouvons nous demander maintenant jusqu'où se propagent, en profondeur, ces mouvements géants. Jusqu'ici aucune méthode ne nous permet de concevoir ce qui se passe exactement sous les massifs granitiques du Mont-Blanc et du Finsteraarhorn par exemple. L'un et l'autre cependant sont victimes de plis couchés que les coupes de M. Balzer pour l'une des régions et de M. Ritter pour l'autre ont bien mis en évidence. Ces plis sont localisés, mais l'on peut se demander, toutefois, s'ils n'appartiennent pas à une unité de plissement d'un ordre supérieur, tout comme les plis réguliers des Préalpes appartiennent cependant à une nappe de recouvrement. L'avenir nous réserve encore bien des surprises. Sachons attendre.

Dans l'intérieur de la chaîne la preuve peut être

donnée de la continuité de ces mouvements en profondeur. De très grandes nappes de gneiss s'avancent très loin du sud vers le nord. Tous les massifs cristallins du Monte Leone, du Tessin, de l'Adula se terminent au nord par de grands plis couchés ou ne sont même que des fragments de ces grands plis. C'est ainsi que j'ai été amené, par la comparaison, à modifier la coupe discutée du massif du Simplon, qui, au lieu d'un entrelacement de plis, est formée au contraire par des plis énormes poussés uniformément vers le nord.

Ainsi les régions profondes des gneiss ont aussi été victimes des mêmes phénomènes. C'est là une conclusion dont l'importance théorique est considérable. Elle confirme cette règle fondamentale qui a présidé à la formation de la chaîne, à savoir l'existence de ces grands déplacements toujours dans le même sens.

Est-ce en surface, est-ce en profondeur que ce sont propagées des écailles de l'écorce terrestre ? L'étude comparative nous montre tout d'abord qu'il n'y a d'autre différence que la grandeur, entre un repli que l'on voit dans un caillou gros comme la main et la nappe de recouvrement qui peut se développer sur plus de cent kilomètres. D'autre part, les étirements de couches que l'on observe, la malléabilité totale qui a été l'une des propriétés fondamentales des couches entraînées, tout cela exige, durant le déroulement, l'existence de pressions considérables verticales. Ce n'est donc pas en surface que ces masses ont marché, mais en profondeur. Ce que nous voyons actuellement, ce pli dont nous devinons la charnière dans les majestueuses parois de la Jungfrau par exemple, s'est formé sous des masses énormes de matières.

Dans cette sorte de débâcle qu'a subi la croûte terrestre lors de la formation des Alpes, la résultante

verticale du mouvement a été insignifiante par rapport à la poussée tangentielle. Si les Alpes ont eu 8000 mètres d'altitude, qu'est-ce que ce chiffre vis-à-vis de mouvements horizontaux dont l'ensemble dépasse peut-être deux à trois cents kilomètres? En outre, vis-à-vis du niveau de la mer, qui n'a du reste aucune signification dans le problème, le mouvement donnant lieu à l'empilement ne s'est pas nécessairement traduit dans le sens centrifuge, mais bien plutôt vers le centre du globe. De telle sorte que les grandes nappes se formant dans le sol, leur apparition en surface n'était pas une nécessité mécanique; l'ensemble aurait pu se trahir par un bombement général beaucoup plus faible, et, qui sait si le phénomène n'aurait pu être, à la rigueur, géographiquement invisible?

Heureusement, il n'en a point été ainsi. Une incurvation générale a suffi et la grande chaîne est sortie des flots, de géologique elle est devenue géographique. Et ce qui nous frappe le plus, cette majesté incomparable des cortèges des hauts sommets, l'effet de l'altitude n'est que le parachèvement de la construction grandiose dont la charpente s'appuie dans des profondeurs inconnues de la lithosphère, charpente plus impressionnante encore, pour qui sait voir, que la délicate sculpture qui partout couvre l'édifice.

J'aimerais pénétrer avec vous plus avant dans ces grandes Alpes, j'aimerais vous montrer que l'étude de détail est tout aussi captivante que l'esquisse des grandes lignes, et j'aimerais surtout vous faire partager ce sentiment indéfinissable que le géologue ressent lorsqu'il contemple la grande œuvre d'un point choisi. Alors vous pourriez comprendre ce culte de la grande nature qui nous possède et que le poète a compris. Eugène Rambert, ce littérateur national, cet homme

qui a si bien décrit, chanté nos Alpes parce qu'il les connaissait en savant et les admirait en poète, a condensé en quelques mots ce que je ne pourrai mieux dire¹ : « La nature, mère de la science, s'est réservée sur les Alpes un laboratoire où la main des hommes n'a rien arrangé ni rien dérangé, où le temps a pu faire son œuvre en paix et où elle travaille aujourd'hui comme elle travaillait il y a mille ans : un tel laboratoire vaut un temple. »

¹ Eugène Rambert, Le voyage du glacier.

Correspondance inédite de Réaumur et Abraham Trembley

par M. MAURICE TREMBLEY (Genève).

Les curieuses expériences qui amenèrent le naturaliste genevois à découvrir en 1740, les particularités physiologiques qui singularisent le polype d'eau douce (aujourd'hui *hydre*) sont bien connues des zoologistes. Le mémoire dans lequel Abraham Trembley a décrit ses observations¹ eut un très grand retentissement, non seulement dans le monde des naturalistes, mais aussi dans celui des philosophes et l'on peut dire, sans exagération, que la découverte en question sera toujours considérée comme une des plus importantes de la physiologie en même temps qu'elle contribua à éclairer plusieurs points de la biologie.

Les zoologistes de tous pays apprendront sans doute avec plaisir que tous les papiers et toute la correspondance de l'illustre savant genevois ont été retrouvés dernièrement dans un galetas de la maison qu'il habita à Saconnex (Canton de Genève). M. Maurice Trembley a formé le projet de publier ces papiers qui, au dire de tous ceux qui les ont entrevus, sont d'un très grand intérêt.

¹ Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes, par A. Trembley, de la Société royale. A Leide chez Jean et Herman Verbeek. 1744.

Pour commencer, M. Maurice Trembley prépare en ce moment même, la publication de la correspondance complète de Réaumur avec Abraham Trembley, c'est-à-dire de quatre-vingt deux lettres de Réaumur et d'autant de lettres d'Abraham Trembley. C'est de ce commerce épistolaire, qui embrasse une période de 17 années (1740-1757), que M. Maurice Trembley a entretenu la Société helvétique, lui donnant ainsi comme un avant-goût d'une publication qui promet d'être du plus haut intérêt et dont la valeur historique est incontestable.

Après avoir rapidement retracé la vie d'Abraham Trembley jusqu'au moment où, pour la première fois il aperçut des polypes d'eau douce, il donne lecture de quelques-unes des lettres échangées entre le jeune naturaliste genevois et son illustre correspondant.

Ce serait déflorer le livre que prépare M. Maurice Trembley que de publier ici toutes les lettres dont il a donné lecture à la Société.

En voici pourtant quelques extraits :

Le 15 janvier 1741, Réaumur écrit à Trembley qui lui avait raconté ses premières observations sur les polypes :

« Vous avez extrêmement excité ma curiosité pour
« ces petits corps organisés que vous suivez depuis si
« longtemps. Vos dernières observations¹ semblent
« pourtant décider que ce sont des plantes. Mais des
« plantes marcheraient elles ! Il est plus aisé de chan-
« ger de place à des plantes aquatiques qu'à des plantes
« terrestres ; et des plantes pourraient, dans l'eau, se
« rendre vers l'endroit le plus éclairé, ou le plus

¹ Il s'agit du polype coupé en deux dont chaque moitié devient en peu de temps semblable au polype primitif.

« échauffé, comme les plantes terrestres se dirigent
« vers le grand air, comme celles d'une caverne tendent
« vers le soupirail. Mais ce qui m'embarasse c'est que
« c'est sur le verre que les vôtres marchent.

« La suite de vos observations dévoilera apparemment cet énigme.

« Si vous aviez beaucoup de ces petits corps, et assez
« pour vous priver de plusieurs, il ne vous serait peut-être pas impossible de me les faire voir, en me les envoyant dans une très petite bouteille pleine d'eau par la voie de la poste. »

Au reçu de cette lettre, Trembley s'était empressé d'envoyer quelques polypes à son illustre correspondant qui lui répond, à la date du 27 février 1741 :

« Je ne saurais, Monsieur, vous faire assez de remerciements de tous les soins que vous avez pris pour me mettre à portée de voir et d'observer ces petits corps organisés pour qui vous avez si fort excité ma curiosité. Dès que j'ai eu tiré la bouteille dans laquelle ils étaient renfermés, de son étui, j'ai eu le plaisir d'y en reconnaître quelques-uns tels que vous me les avez décrits et représentés, à un des bouts desquels j'apercevais les filaments disposés en rayons.

« Mais c'est avec regret que j'ai appris par la suite que quoiqu'ils eussent conservé leur forme, ils étaient prêts à la perdre, que tous étaient morts.

« Le nombre de ces petits corps verts a diminué journellement dans l'eau, ils s'y sont pourris et dissous. Je ne puis plus rien voir de vert dans le petit verre où je les transvasai, le jour même où ils arrivèrent. Peut-être ne sont-ils pas en état de résister à la fatigue de courir la poste. Peut-être ont-ils souffert trop du froid, en chemin.

« J'ai peur, et ce serait le moindre mal par rapport

« à l'avenir, qu'une des précautions que vous avez
« prises pour empêcher l'eau de sortir, et pour mieux
« contenir le bouchon, n'ait tourné contre eux.

« Au moyen de la cire d'Espagne dont vous avez en-
« duit le bouchon et ses contours, ils se sont trouvés
« dans un vase impénétrable à l'air, et comme scellé
« hermétiquement. J'ose donc vous prier de tenter de
« m'en faire un second envoi quand vous vous en
« trouverez assez fourni, et de vous contenter de
« mettre un bouchon de liège enfoncé suffisamment
« pour qu'il ne puisse pas sortir. L'eau qui suinte
« à travers le liège peut entretenir une circulation
« d'air.

« Je serais assurément très aise de voir toutes les
« observations singulières que ces petits corps vous
« ont offertes. S'ils sont des plantes, comme j'ai grand
« penchant à le croire, en comparaison d'elles les sen-
« sitives imitent bien grossièrement les mouvements
« des animaux. »

Au reçu de cette lettre, Trembley fit aussitôt un
« nouvel envoi de « vingt petits corps organisés ».

« Je crains, écrit-il, que ce ne soit la fatigue de
« courre la poste qui les tue... J'ai choisi une bouteille
« un peu plus large et, n'y en ayant que vingt dedans,
« ils risquent moins de se choquer, et ils auront plus
« d'air... Le mouvement les oblige à se contracter, et
« qui sait s'ils n'ont pas besoin pour se nourrir d'être
« étendus. Ils doivent voyager continuellement pen-
« dant quatre jours et quatre nuits. Ils sont toujours
« contractés pendant ce temps-là. Le jeûne est peut-
« être trop long pour eux. Si ce second envoi ne réus-
« sit pas, je chercherai quelqu'un qui aille à Paris à
« plus petites journées, en sorte que nos petits corps
« aient au moins du repos toutes les nuits. D'ailleurs

« le mouvement d'une voiture est moins rude que
« celui d'un cheval qui trotte et qui galope.

« Lundi passé j'en ai mis trois dans la bouteille que
« vous recevrez et je leur ai fait faire sept lieues au
« trot. Ils se portent cependant très bien. »

Ce second envoi arriva en parfait état et Réaumur en accuse réception en ces termes :

« Vous attendiez, Monsieur, pour être content que
« je le fusse ; si vous l'êtes autant que moy vous le se-
« rez beaucoup. Vos petits corps organisés me sont
« arrivés en aussi bon état que vous le pouviez sou-
« haiter. Les premiers n'étaient périssables apparemment que
« par un excès de précaution. Dès le soir même je
« leur fis faire une bonne partie des manèges, et des
« mouvements que vous aviez très bien décrits ; je les ob-
« servai à la bougie pendant près d'une heure et demie
« avec une véritable satisfaction. Je ne crois pas qu'il
« y ait aucun lieu de douter sur la classe dans laquelle
« ils doivent être mis. Ce sont certainement des ani-
« maux. Je leur ai même déjà donné un nom sous
« votre bon plaisir, celui de polipes, et en attendant
« que vous l'aiez agréé, ou rejeté, je ne laisserai pas
« de m'en servir pour épargner la longue phrase que vous
« et moy avons employée jusqu'ici pour les désigner.

« Je vous ai déjà marqué que je me proposais de
« communiquer à l'Académie les observations qu'ils
« vous ont fournies, et que j'étais certain qu'elle leur
« donnerait beaucoup d'applaudissements. Je lui en fis
« part dès l'assemblée qui vint la première après ma
« lettre écrite. On ne s'y contenta pas de l'idée géné-
« rale que j'en donnai d'abord. On souhaita unanimé-
« ment que je lusse toutes vos observations en entier,
« et ce fût aussi unanimement qu'on donna des éloges
« à la manière dont elles sont rapportées, et à l'atten-

« tion avec laquelle elles ont été faites. La sage retenue
« qui paraît dans toutes plut beaucoup. Enfin, Mon-
« sieur, j'ai fait voir vos petits polipes en personne, à
« toute l'Académie, qu'elle a trouvés très conformes
« aux idées que vos descriptions lui en avaient fait
« prendre. Monsieur Bernard de Jussieu a déjà observé un
« polype du même genre que le vôtre autour de la len-
« tille aquatique, et il y a du temps qu'il m'en a parlé,
« il est un peu rougeâtre et par conséquent d'une cou-
« leur différente de celle du vôtre, mais il ne lui a ni
« vu, ni même soupçonné les singularités que vous avez
« découvertes au votre, et il est probable qu'il les a.
« C'est de quoi nous chercherons à nous assurer dès
« que la lentille se sera élevée sur les eaux et qu'elle
« mettra en mesure d'en trouver. Quoique tous ceux
« que vous m'avez envoyés, en dernier lieu, me pa-
« raissent se porter très bien, j'ai voulu les laisser un
« peu se remettre des fatigues du voyage avant que de
« leur faire souffrir une cruelle opération. Je ne crois
« pourtant pas que la journée se passe sans qu'il y en
« ait un au moins coupé en deux. C'est une chose si
« étrange qu'un animal coupé en deux devienne deux
« animaux, qu'après l'avoir vu on doit avoir encore de
« la peine à le croire. Rien cependant ne paraît avoir
« pu vous en imposer, au moyen des précautions que
« vous avez prises. J'ai grande impatience de voir ce
« prodige de mes propres yeux et je diffère les raison-
« nements auxquels il conduit jusqu'à ce que j'en aie
« été témoin. »

On imaginera sans peine, le plaisir que dut procu-
rer à Trembley la lecture de cette lettre. Il s'empresse
d'y répondre :

« L'heureuse arrivée de mes petits polypes et le plai-
« sir qu'ils vous ont fait me donne une véritable satis-

« faction. Il me fallait un jugement comme le vôtre
« pour me tirer du doute dans lequel j'ai été. J'avoue
« que je ne pouvais voir les mouvements des polypes
« sans penser qu'ils étaient des animaux. C'en est donc,
« mais qui nous apprennent qu'il y a entre les animaux
« et les plantes encore plus de rapport que l'on ne l'a
« cru jusqu'à présent.

« Le nom de polypes leur est très convenable. »

Et la conversation continue de la sorte entre ces deux savants. Il faudrait pouvoir citer ici bien d'autres lettres encore pour donner une idée exacte et complète de cette manière de collaboration à distance. Mais il faut se borner et il suffira de dire que ceux qui en ont entendu la lecture ont été charmés de l'exactitude, de la simplicité, de la fraîcheur d'impressions avec lesquelles Trembley décrit ses observations, charmés surtout par les réponses de Réaumur, toutes pleines de bienveillance, de conseils excellents, d'encouragements précieux. Ecrites dans un style dont la précision toute scientifique n'exclut point l'élégance, les lettres du savant français sont certainement appelées à demeurer comme de très beaux spécimens de la langue du XVIII^{me} siècle.

Le mémoire que publia Trembley à Leyde, en 1744, est bien connu des zoologistes. Ils y admireront toujours la persévérance, l'ingéniosité, la perspicacité et l'esprit d'investigation du naturaliste genevois. Mais sa correspondance avec Réaumur, vient compléter d'une façon très intéressante et très utile, le mémoire de 1744.

Elle est antérieure à ce mémoire et fait, par conséquent, connaître, avec une très grande précision, la genèse des célèbres expériences de Trembley en permettant de prendre une part plus intime aux hésita-

tions, aux craintes, aux certitudes, aux joies de l'observateur.

On y assiste surtout à la conversation si profitable de ces deux savants qui échangent leurs idées et leurs impressions, d'abord sur les polypes, ensuite sur tous les sujets qui leur étaient devenus communs. Leurs relations, en effet, malgré leur grande différence d'âge¹, devinrent peu à peu des relations d'amitié, après n'avoir été, au début, que des relations exclusivement scientifiques.

Cette conversation qui embrasse une période de 17 années, ne fut pas seulement profitable à l'un et à l'autre savant ; elle reste très intéressante et profitable pour nous, en nous montrant que si les qualités d'investigation dont Trembley fit preuve, lui font le plus grand honneur, c'est avant tout à Réaumur que nous en sommes redevables.

C'est de lui que Trembley tenait les excellents principes qui l'ont dirigé, puisqu'il les avait puisés dans les premiers volumes des *Mémoires sur les insectes* dont il avait fait ses livres de chevet.

C'est Réaumur qui fut le maître, le père intellectuel d'un grand nombre de naturalistes de cette brillante époque. Brisson, Charles Bonnet, Allamand, Lyonnet, Trembley et tant d'autres, doivent beaucoup à son exemple et à ses conseils.

A ce propos, et pour clore sa communication, M. Maurice Trembley ne peut s'empêcher de déplorer qu'une partie des papiers et la correspondance presque entière de Réaumur soient encore inédits. Les 82 lettres à Trembley, dont il prépare la publication, ne sont

¹ Réaumur avait déjà cinquante-sept ans, alors que Trembley n'en avait encore que trente.

qu'une des petites parties et non pas la plus intéressante, d'un commerce épistolaire considérable dont on trouve d'importants fragments à Genève, à Paris, à la Rochelle, à Avignon, à Poitiers, à Clermont-Ferrand.

M. Georges Musset, conservateur de la bibliothèque de la Rochelle, a publié quelques-unes des lettres conservées dans cette bibliothèque ¹.

M. Maurice Trembley possède lui-même, pour l'avoir achetée dans une vente d'autographes, une curieuse liasse de lettres de Réaumur à Lyonnet, l'avocat naturaliste et dessinateur qui s'est rendu célèbre par ses observations sur la chenille du saule et par ses planches gravées qui illustrent l'ouvrage de Trembley sur les Polypes.

Sans aucun doute, on trouverait ailleurs encore d'autres lettres de Réaumur.

En réunissant et en coordonnant toutes ces correspondances, on aurait un tableau à la fois vaste et précis, qui compléterait utilement ce que l'on sait déjà des relations de quelques-uns des plus illustres savants du XVIII^{me} siècle.

On verrait quelle place y tient Réaumur. On verrait aussi, une fois de plus, quelle place nos savants suisses et genevois ont tenue dans l'histoire scientifique du XVIII^{me} siècle.

Il est superflu d'insister sur l'intérêt et la valeur qu'aurait ce chapitre peu connu et presque inexploré de l'histoire des savants.

¹ Archives de la Société des sciences naturelles de la Rochelle (1885).

N.B. La Rédaction des *Actes* n'ayant pas reçu le manuscrit de Sir W. RAMSAY, regrette de ne pouvoir publier ici la conférence qu'il a faite sur

Les gaz inertes de l'atmosphère et leur rôle dans le spectre de l'aurore boréale.

Les *Archives des Sciences physiques et naturelles*, espèrent publier ultérieurement un article de Sir W. Ramsay sur le sujet en question.

Leere Seite
Blank page
Page vide