

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 41 (1916)

Artikel: Des instruments aux molécules
Autor: Perrier, Albert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-742626>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.01.2026

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

DES INSTRUMENTS AUX MOLÉCULES⁽¹⁾

PAR

Albert PERRIER

Depuis fort longtemps, et à l'heure actuelle avec une particulière acuité, deux problèmes hantent les cerveaux des physiciens : la transmission des forces à travers les espaces vides de matière d'une part, la structure de la matière pondérable de l'autre.

Le premier est pour l'instant plus particulièrement l'apanage des physico-mathématiciens ; aussi, chargé de l'enseignement de la physique expérimentale, le laisserai-je de côté aujourd'hui pour m'attacher au second qui de beaucoup occupe le plus les laboratoires.

Personne n'ignore qu'à l'heure actuelle l'ancienne hypothèse de la constitution discontinue ou moléculaire de la matière est entrée dans le domaine des réalités, qu'en d'autres termes l'existence objective des molécules ne saurait plus être l'objet d'une contestation sérieuse. Où l'effort des physiciens se concentre maintenant, c'est sur la connaissance même de ces entités les molécules, et de leurs sous-constituants les atomes.

De quelle manière cette profonde énigme est entamée de toutes parts, comment de l'expérience brute les physiciens arrivent à tirer des renseignements sur ces infiniment petits, c'est ce dont je me propose de vous donner une idée pendant les quelques instants d'attention que l'on veut bien m'accorder. Notre but

¹⁾ Discours prononcé — à quelques légères modifications près — par l'auteur lors de son installation comme professeur ordinaire de physique à l'Université de Lausanne. Un temps limité à 20 minutes et un auditoire sans préparation physique ont imposé une forme élémentaire, intuitive et brève ; il a été impossible de s'arrêter à des réserves ou des développements qui pourraient paraître nécessaires.

sera donc de surprendre, si je puis dire, le chercheur sur le fait et cela en nous aidant de quelques exemples récents.

Les molécules, comme les atomes, sont des individus, des organismes matériels; un individu, un mécanisme, un édifice présente des dimensions, des proportions, sa face antérieure peut ne pas être identique à sa face postérieure, il aura un poids, une couleur, il peut être doué de mouvements, que sais-je... autant de propriétés que peuvent posséder nos éléments de matière et que nous devons déceler.

Le biologiste qui veut étudier *le* lapin prend dans son laboratoire *un* lapin et fait sur lui ses observations et ses expériences; le physicien, concluons-nous par analogie, qui veut étudier la vie et les mœurs des molécules de cuivre va de même se mettre en tête-à-tête avec une molécule et l'étudier à loisir... Hélas! il se trouve devant un organisme si minuscule que ses microscopes les plus puissants ne peuvent pas en apercevoir des agglomérations de centaines de milles; et il ne faut pas moins d'un milliard de milliards de molécules de fer pour bâtir une seule tête d'épingle!

Et cependant cette méthode directe qu'on pourrait qualifier d'individuelle par opposition à une autre que nous rencontrerons tout à l'heure, a réellement été appliquée et avec succès. Mais comment?

Considérez pour un instant des événements à notre grossière échelle: un obus est un objet gros comme une tête d'homme et cependant les incendies multiple qu'il peut allumer sont observables à bien des kilomètres; en face d'une ville de centaines de mille âmes, l'homme est bien petit qui peut par le seul jeu d'un levier lui donner la lumière ou la plonger dans l'obscurité, par quoi cependant il manifeste au loins son activité *individuelle*. Et semblablement, vous demanderez-vous revenant à notre question d'extrêmement petits, si cette particule infime qu'est un atome nous est inaccessible par elle-même, ne pouvons-nous entrevoir au moins des effets de son existence isolée assez intenses pour impressionner nos sens ou nos instruments et par là obtenir des éléments d'enquête sur ses mœurs?

L'expérience, entre des mains prodigieusement habiles, s'est déjà chargée de répondre. Elle a pu par exemple compter —

électriquement, car là comme ailleurs les procédés électriques sont sans cesse sur la brèche — compter, dit-je, le nombre de projectiles, molécules eux-mêmes, lancés par d'autres molécules en train d'exploser. Puis elle a réussi à déceler, à photographier même, le parcours d'un seul atome traversant l'air à la façon d'un projectile, et cela justement au moyen des effets destructifs produits sur des molécules rencontrées chemin faisant. Et l'expérience directe a accompli bien d'autres merveilles encore. Je regrette de ne pouvoir en citer assez pour faire naître en vous l'impression dominante qui se dégage de l'étude de tous ces travaux, celle de l'élégance la plus admirable dans l'ingéniosité la plus subtile.

Mais toutefois ces qualités ne peuvent racheter complètement un côté faible : par la nature même des choses, l'observation de phénomènes si extraordinairement minuscules que ceux provoqués par un seul ou quelques atomes reste peu sûre, et si brillante et suggestive soit-elle, cette poursuite directe de l'infiniment petit doit encore se contenter d'approximations parfois grossières.

Mais y a-t-il d'autres possibilités que l'étude directe des individus ? Oui il y en a, et ces méthodes, dont je vais vous entretenir maintenant, ont engendré une quantité de travaux et de travaux féconds beaucoup plus considérable que les premières.

Le chercheur renonce ici délibérément à saisir sur le fait les phénomènes intimes de la nature ; il accepte résolument son rôle, normal en somme, d'observateur lointain d'un monde qui ne s'offre à sa vue que dans son ensemble. Jugez d'ailleurs de la distance si je vous dis qu'entre la grandeur d'une molécule de ma main et sa distance à mon œil il y a grossièrement le même rapport qu'entre la grandeur de l'étoile Sirius et sa distance à la terre.

Mais en revanche les phénomènes que l'expérimentateur aura à étudier seront cette fois aussi intenses qu'il lui plaira, car disposant de blocs de matière à l'échelle de ses organes ce qui s'y passe est la somme d'un nombre formidable de phénomènes élémentaires ; ce qu'il observe et mesure ce sont

ici des dilatations, des changements d'état, de l'électrisation, de la luminosité... Or il doit s'en servir à ses fins, la connaissance des molécules, et il s'agit donc de relier cela à ceci, le résultat habituel de la mesure à son origine profonde, la mimique extérieure de la matière aux réactions en quelque sorte intracérébrales dont elle est la manifestation.

Permettez-moi, pour illustrer le genre de raisonnements qu'il va faire à cet effet, de m'aider d'une parabole. J'imagine une immense armée en train de se rassembler, les soldats portent un uniforme à l'ancienne, ce ne sont pas de monotones porte-sacs gris, khakis ou résédas, il sont au contraire tous pourvus sur un habit franchement bleu, d'un plastron brillamment écarlate, c'est là une supposition essentielle. Observateurs gigantesques, nous regardons de très loin cette armée encore dans la période où, non organisée, tous les hommes sont réunis en groupes les plus divers et dans toutes les positions possibles ; nous ne distinguons pas les individus, mais d'où que nous soyons, toute la plaine nous apparaît comme recouverte d'une teinte *moyenne* entre le rouge et le bleu, d'une teinte violacée. Soudain un ordre est transmis, la masse amorphe s'agite, les unités se forment, en peu d'instants tout le monde est au garde-à-vous, tous en particulier *regardent dans la même direction*. Cette foule n'a pas varié dans sa composition, ses éléments sont les mêmes, à peine se sont-ils déplacés, et cependant tout a changé maintenant pour nous : en nous plaçant en avant, la plaine donne la note générale de tous les plastrons, elle apparaît rouge ; observée de l'arrière, au contraire, elle ne peut être que bleue ; et d'ailleurs un seul commandement de demi-tour renverse ces apparences.

Voilà la parabole et voici l'interprétation : nous admettons que chaque soldat représente une molécule, leur immense assemblée un corps tel que nous les connaissons, que l'ordre du chef soit l'action de quelque agent physique ; il pourra se produire alors que sans autre modification que cette influence, le corps présente des propriétés non identiques suivant la direction dans laquelle on observe, que les deux extrémités d'un barreau métallique, par exemple, agissent différemment. Le phénomène déterminé et nous laissant guider par le parallèle

choisi, nous en tirerons immédiatement deux conclusions : la première que les molécules, tout comme nos soldats, ont dû tourner, s'orienter dans une même direction, la seconde que comme chez eux encore quelque chose différencie leurs faces, qu'en un mot elles doivent présenter une *dissymétrie*.

Voilà, n'est-il pas vrai, d'étranges conclusions, admettre par exemple que dans un rigide morceau de fer des particules peuvent se retourner dans tous les sens ! C'est cependant ce que l'on doit admettre aujourd'hui et cela vous montre combien large est la brèche que nous venons d'ouvrir d'un seul coup dans le secret qui entoure le monde moléculaire, et d'ouvrir expérimentalement sans qu'il soit nécessaire de saisir individuellement ses éléments ; bien mieux, cette fois-ci, plus leur nombre est énorme et plus les observations sont sûres.

Mais je pressens déjà deux questions sur vos lèvres. Quels sont en premier lieu les agents d'assez d'autorité pour commander de la sorte à la matière dans ses plus secrets éléments ? Ils ne sont point nombreux, on peut même dire qu'il n'y en a guère que deux dans l'état actuel de la science, car nombre d'actions qui en semblent indépendantes s'y ramènent enfin de compte : ces deux agents sont les *forces électriques* et les *forces magnétiques*.

Et puis, en second lieu, quelle peut bien être la nature des différences observables ainsi entre les faces d'un même corps parfaitement homogène ? Car bien entendu elles ne s'habillent pas automatiquement de rouge et de bleu ! Ici je n'ai que l'embarras du choix, ces dissymétries seront des charges électriques positives et négatives, des pôles magnétiques, diverses propriétés optiques, etc. ; la liste est inépuisablement variée des phénomènes merveilleux dont les corps peuvent être le siège, sans que leur apparence ou leur consistance soit modifiée le moins du monde, simplement parce qu'on aura fait s'orienter leurs molécules.

Je viens de vous donner par un groupe particulier de faits un aperçu sur la manière dont le physicien tire de l'observation immédiate des clartés sur les mécanismes élémentaires ; j'ai schématisé, par suite simplifié beaucoup. Si les demi-tours de

nos guerriers sont propres à vous donner une image nette des orientations moléculaires et de leurs effets, ils n'en donnent cependant qu'une image grossière. En réalité l'armée des molécules est peu disciplinée, elle n'est en aucune façon de celles où le *drill* est en faveur, et les individualités qui la composent sont par-dessus tout incapables de rester tranquilles, fût-ce sous les ordres de champs magnétiques ou électriques. On a à compter en un mot avec ce que les physiciens nomment *l'agitation thermique* qui se mesure de l'extérieur par la *température*.

C'est là, ou s'en rend compte sans peine, une complication très grave; mais on a pu constater à ce propos que, comme toujours, difficulté nouvelle n'a été que stimulant nouveau de recherche. En fait celle-là a été vaincue en la suscitant par une des créations les plus géniales des dernières décades du XIX^e siècle.

L'essence de cette création théorique est un élargissement de l'idée qui nous a conduits jusqu'ici en ce sens que les raisonnements sur les grand nombres et surtout sur les *moyennes* y jouent un rôle plus prépondérant encore: assimilons nos éléments de matière non plus à des soldats identiques mais aux citoyens d'une nation qui, par ailleurs semblables, ont des *activités* plus ou moins diverses et variées; dans son ensembles et pendant de longues périodes de temps, cette nation suit cependant certaines lois fixes et obéit plus ou moins à des grands courants, à des influences générales (économiques, géographiques, etc.) que les statistiques permettent de dégager; et en fin de compte on peut en tirer des caractères de l'individu moyen d'une race. Eh bien, la physique moléculaire, je devrais dire la physique tout court, trouve à l'heure actuelle ses fondements les plus essentiels peut-être dans des méthodes statistiques; et la marque saillante de ces méthodes est *l'introduction du calcul des probabilités*. Cette notion de probabilité occupe maintenant dans les réflexions des physiciens une place plus considérable, je pense, que dans celle des spécialistes des compagnies d'assurances. C'est là, notons-le en passant, un fait dont la portée philosophique ne saurait échapper à personne.

Ce sont elles, ces méthodes statistiques, les véritables in-

struments qui ont permis la liaison complète, la liaison quantitative entre les phénomènes tels qu'ils se présentent à nos sens et les phénomènes du monde moléculaire: ce passage délicat est leur œuvre et les expérimentateurs qui enregistrent journellement les renseignements les plus inattendus sur la constitution de la matière sont, dans leur grande majorité, les héritiers heureux des théoriciens de génie qui les ont créées.

Parmi ces derniers, car ils sont plusieurs, permettez-moi de citer un seul nom, celui du véritable précurseur cent cinquante ans avant la lettre, et notre compatriote, le Bâlois Daniel Bernoulli.

Les succès remportés sous l'égide des théories statistiques ne se comptent plus, il serait vain de vouloir en exposer une fraction notable⁽¹⁾. On me permettra cependant pour ne pas vous laisser une impression trop abstraite de ces considérations d'en indiquer quelques sanctions expérimentales. A cet effet je choisirai parmi les résultats de travaux que j'ai exécutés seul ou en collaboration⁽²⁾.

Partant de l'hypothèse initiale des dissymétries moléculaires, divers travaux (P. Curie, Weiss) avaient conduit à l'hypothèse complémentaire de forces orientantes s'exerçant de molécule à molécule; une série de mesures magnétiques à très basse température en mettant au jour des anomalies systématiques à une loi fondamentale conduirent d'abord à généraliser cette hypothèse tout en expliquant simplement ces anomalies de prime abord incompréhensibles; conduirent ensuite par un raisonnement théorique simple à en prévoir la disparition par interposition de molécules hétérogènes, et l'expérience, d'ailleurs très délicate et nécessitant des moyens que seul le laboratoire

¹⁾ Il est intéressant de constater en outre actuellement une réaction inverse des recherches physiques sur les bases du calcul des probabilités lui-même; voir à ce sujet les récents travaux de M. Ed. Guillaume (*Archives*, 1914 et 1915).

²⁾ Voir Albert Perrier, mémoires divers sur l'hystérèse, les grandeurs homologues, l'aimantation rémanente, (*Archives Sc. phys. et nat.* 1909 et 1912), aussi série de publications en collaboration avec H. Kamerlingh Onnes sur le ferro-, le para- et le diamagnétisme aux très basses températures (*Communications from the phys. Lab. of the University Leyden*, 1911, 1912 et 1914).

de Leyde pouvait offrir, confirmait cette prévision, donnait par là en même temps une preuve de l'existence objective de ces forces mystérieuses et un premier aperçu sur leurs variations avec les distances moléculaires, et par surcroît un argument notable pour considérer la molécule d'oxygène comme un édifice rigide (chose déjà rendue probable par d'autres travaux). Peut-être l'interprétation de ces résultats devra-t-elle être modifiée plus tard, mais leur signification ne pourra qu'en être accrue, car une des interprétations possibles les mettrait en connexion étroite avec les phénomènes lumineux.

Cependant la variété des mouvements que l'on peut imaginer de faire exécuter aux molécules n'est limitée que par les possibilités matérielles de réalisation. On peut, par exemple, les astreindre à des oscillations ou des rotations ininterrompues, et aussitôt d'autres phénomènes se présentent qui autorisent des conclusions nouvelles. C'est ainsi que j'ai obtenu de nombreuses données sur les déperditions d'énergie dans la matière et par répercussion sur les liaisons entre molécules ; qu'indirectement une loi en a été tirée qui, par son caractère de généralité, a permis de relier et clarifier considérablement des résultats antérieurs inexpliqués et, d'un autre côté, d'en faire prévoir de nouveaux ; qu'enfin les mêmes recherches en suggèrent d'autres à faire sur certains alliages métalliques, dont les résultats pourraient provoquer des perfectionnements très notables des instruments de mesure ou des machines dynamo-électriques.

Je vous l'ai dit, les quelques travaux que je viens d'utiliser pour donner une sanction de réalité matérielle à des considérations un peu théoriques ne sont qu'une petite fraction de ceux que de nombreux chercheurs ont élaborés, guidés par cette seule hypothèse, et groupés autour d'elle comme preuves de sa réalité, celle des dissymétries et de l'orientabilité des molécules. Ne pouvant vous en entretenir, du moins vous ferai-je pressentir leur profondeur et leur signification pour la philosophie naturelle en vous disant qu'ils comptent en partie parmi les plus fortes preuves de la parenté étroite des phénomènes électriques et des phénomènes lumineux.

Et tout cela encore n'est qu'un aspect, qu'une seule face du sujet qui nous occupe; que nous voulions atteindre d'autres traits de la physionomie des molécules que leurs dissymétries, d'autres éléments de leur constitution, c'est alors pour chacun à un domaine entier de physique — non moins intéressant et non moins riche — que nous devons faire appel, optique, thermique, radioactivité, électrostatique, d'autres encore; et toujours nous retrouverions comme liaisons avec les phénomènes directement accessibles quelque hypothèse très simple, voire naïve, à la base et ensuite le puissant appui du calcul des probabilités. Je citerai pour terminer deux exemples choisis parmi ceux où la collaboration des théories moléculaires avec l'expérience a été le plus riche en résultats:

Appelons encore une fois à notre aide l'image d'une immense foule d'êtres humains s'agitant, discutant et criant. Nous, auditeurs très éloignés, percevons le bruit qui émane de tous ces individus, nous le percevons très nettement parce qu'il est intense, mais cependant, seulement comme une rumeur, un grondement monotone. Que des instruments par contre permettent de mesurer son intensité et de l'analyser, nous serons alors à même de distinguer d'abord les grands mouvements d'émotion ou de calme, puis toujours sans voir les individualités, s'il y a des hommes, des femmes, des enfants, puis encore à certains sons caractéristiques, quelles langues sont représentées et peut-être même, si les instruments sont assez parfaits, s'il y a des dentitions incomplètes dans l'assemblée, et quelles dents sont le plus fréquemment absentes, que sais-je... Eh bien, sous cette image, quelques-uns auront peut-être déjà reconnu les recherches sur le rayonnement, qui mesurant et analysant la lumière, ont décelé des choses bien insoupçonnées sur les relations de molécule à molécule, qui non satisfaites de nous faire pénétrer la composition chimique des astres, non satisfaites encore d'y découvrir des substances inconnues sur la terre, osent prétendre jusqu'à peser les atomes de ces substances cosmiques... et qui, d'un tout autre côté, sont les collaboratrices de tous les instants des progrès de l'éclairage industriel.

Enfin le second exemple et le plus récent. En faisant très simplement passer des rayons de Röntgen à travers des cris-

taux, quelques physiciens contemporains ont rendu si je puis dire directement visible l'exactitude de l'assimilation de la structure d'un cristal à l'armée de soldats bien alignés que j'évoquais tout à l'heure, et, en même temps, en faisant faire un bond énorme à la connaissance théorique et pratique de ces énigmatiques radiations promettent, il me semble, de résoudre à bref délai le problème du triage pratique des rayons X. Et cela signifie en un mot la faculté non encore atteinte de doser à coup sûr leur action physiologique et par conséquent thérapeutique.

Toute science comme tout organisme vivant traverse des périodes de développement rapide et d'autres de consolidation, de tassement, de critique. La physique se trouve depuis quelques années dans une période d'énorme développement, la plus brillante, la plus féconde peut-être qu'elle ait jamais vécue ; elle nous fait assister à une floraison ininterrompue de découvertes de faits, en même temps que de créations théoriques dont la nouveauté ne le cède qu'à la hardiesse. Mais à travers cette effervescence à première vue désordonnée surtout à regarder seulement le côté expérimental, il est possible de discerner non pas seulement des points de contact entre les chercheurs, non pas seulement quelques idées communes, mais un ou deux courants généraux bien définis, réguliers et puissants, dont toute recherche modeste ou brillante, isolée ou collective, n'est qu'un affluent. J'ai tenté, sur le fond de l'expérience et de la théorie, de mettre en relief un de ces courants. Puissé-je y avoir réussi.
