

Les orientations moléculaires en physique et en cristallographie

Autor(en): **Perrier, Albert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **45 (1918)**

PDF erstellt am: **25.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742982>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LES ORIENTATIONS MOLÉCULAIRES

EN

PHYSIQUE ET EN CRISTALLOGRAPHIE

Esquisse sur une hypothèse féconde et ses conséquences ¹

Conférence² faite à l'assemblée générale de la Société helvétique
des Sciences naturelles le 10 septembre 1917 à Zurich

PAR

Albert PERRIER

(Avec 1 fig.)

De même que l'art décoratif dans ses manifestations les plus raffinées utilise comme éléments de composition des figures simples tirées directement des objets qui nous environnent, figures géométriques, fleurs, d'autres encore, objets ou figures auxquels on peut remonter et qui sont plus ou moins recon-

¹ Extrait des *Verhandlungen der Schw. naturforsch. Gesellschaft*, 1917, II.

² Le lecteur voudra bien ne pas perdre de vue le but dans lequel cet article a été composé. La matière présentée à la Société helvétique n'a été développée dans le texte que sur quelques points de détail. Il ne s'agit ici en aucune façon d'un résumé de résultats sur le sujet choisi, mais plutôt d'une sorte de tableau dont doivent ressortir les idées directrices, ce qu'il y a en elles d'essentiel, ce qui est seulement accessoire. Que je n'aie pas suivi d'ordre chronologique, que je n'aie reproduit aucun calcul ni formule, que les citations bibliographiques soient très incomplètes, ce sont là conséquences naturelles que chacun comprendra.

naissables suivant le degré de raffinement ou l'imagination de l'artiste qui les a stylisés, de même le plus grand nombre de notions, d'images, d'hypothèses même des sciences exactes sont en dernière analyse tirées de façon plus ou moins inconsciente de ce qui nous environne immédiatement, et ces notions, je me permets de l'affirmer, en découlent directement; ce sont aussi, si je puis m'exprimer de la sorte, de simples stylisations.

Je vais vous en donner un exemple immédiat, un exemple concernant une conception des plus abstraites et des plus générales de la physique, et non seulement d'ailleurs de la physique de la matière pondérable, mais aussi de celle de l'espace vide: voici un morceau de bois, matière compacte et solide dans tous les sens; cependant le bûcheron qui l'a découpé, le praticien qui voudra l'utiliser, savent bien qu'il n'est pas indifférent de le placer dans telle direction que l'on voudra; lorsqu'on fera des poutres, on le prendra dans un certain sens, et pas dans un autre... Bref, dans ce bloc d'apparence égale partout, même si je le taille en une boule, même si recouvert d'une couche de vernis rien ne décèle extérieurement une face ou une autre, la matière dont il est constitué présente des directions particulières manifestées par des propriétés différentes des autres. Nous sentons bien là, sans nous le formuler exactement, ce que le naturaliste appelle des «directions privilégiées», et cette matière très homogène qui cependant se comporte de manière si variable suivant le sens dans lequel on l'utilise ou l'étudie, est dite *anisotrope*.

Considérons encore, de l'extérieur, de l'eau parfaitement pure dans un flacon de verre: le liquide pourra être parfaitement en repos ou être en mouvement de rotation sans que, à première vue, rien ne révèle une différence entre les deux états. Cependant, les propriétés prises dans leur ensemble sont profondément différentes: un corps quelconque placé dedans sera soumis à un entraînement, la lumière et la chaleur ne traverseront pas de la même manière dans toutes les directions, le flacon dans son ensemble posé sur une pointe restera debout, ni plus ni moins qu'une toupie.

Le seul mouvement de l'eau entraîne une foule de phénomènes jusque-là inexistantes et qui sont tous caractérisés par certaines

directions privilégiées, dirons-nous encore; nous avons ainsi créé un corps, un système *anisotrope*.

Entre le cas du bois avec sa direction des fibres et l'exemple de cette eau en mouvement la parenté des notions est évidente, on peut même dire qu'il y a identité au point de vue abstrait sous des apparences, avec des phénomènes différents. Ces deux milieux, bois et eau, sont tous deux anisotropes ou comme je dirai aussi *dissymétriques*, par opposition à un bloc de ciment, à une boule pleine de farine ou d'eau en repos parfait; tous ces corps sont semblables à eux-mêmes dans toutes les directions et constituent des *milieux isotropes*.

Eh bien, ces questions d'anisotropie et d'isotropie que nous venons de nous assimiler si facilement sur ces corps particuliers, nous n'avons, comme l'artiste, qu'à les généraliser, à les affiner, à les styliser, pour acquérir une des notions les plus fondamentales de toutes les sciences physiques: tout milieu dans lequel un phénomène de nature quelconque ne se produit pas avec une intensité identique dans toutes les directions est un milieu *anisotrope pour ce phénomène*; nous ne sommes donc plus attachés à un corps tel que le bois dont l'anisotropie est de par sa constitution fibreuse pour ainsi dire directement visible, plus attachés à un système tel que notre liquide tournant où les effets dirigés sont avant tout mécaniques; non, tout corps dont les propriétés optiques, magnétiques, électriques, élastiques, que sais-je, dépendent des directions est anisotrope optiquement, magnétiquement, etc.

Et toutes ces anisotropies peuvent d'ailleurs parfaitement exister simultanément et notre corps être dissymétrique par toutes ces propriétés à la fois.

Reprenons encore nos deux corps typiques, le morceau de bois et l'eau, mais ayant une intention d'analyse plus serrée, nous mettrons en regard l'une de l'autre leurs deux anisotropies, l'une qui reste semblable à elle-même en toutes circonstances, qui est définitive, qui tient à la structure même et à l'origine de la substance, celle du bois; l'autre qui au contraire n'est en aucune façon une qualité de l'eau par elle-même, mais que celle-ci a *acquise* par une action extérieure particulière, sa mise en mouvement; mieux encore l'anisotropie ainsi acquise est



variable, elle peut s'accroître à volonté. Et nous gagnons par là l'idée d'une classification simple des diverses dissymétries que la nature nous permet d'observer : les *anisotropies naturelles*, par leur essence préexistantes et peu variables, et les anisotropies dites *accidentelles* provoquées à notre gré sur des corps isotropes par des agents qui dépendent de nous, phénomènes que, dans les limites de puissance de ces agents, nous avons la faculté de faire varier et qui disparaissent en général avec la cause excitatrice.

La première catégorie, puisque naturelle, s'est révélée aux savants bien avant l'autre, elle comprend cela va de soi les propriétés des milieux cristallins, anisotropes par essence; quant aux anisotropies provoquées ou temporaires, elles ont dû être découvertes à grand'peine, apparurent très isolément, et ce n'est que dans les cinquante dernières années, avec l'étude systématique des actions des champs électrique et magnétique, que la liste s'en est réellement enrichie, elle s'enrichit d'ailleurs chaque jour davantage : qu'il me suffise de rappeler qu'elle comprend entre autres phénomènes ceux de l'électrooptique et de la magnétooptique pour appuyer cette assertion. Et on peut bien dire aujourd'hui que l'étude générale des anisotropies se confond dans une large mesure avec la cristallographie et la physique elles-mêmes.

Et parallèlement à cette multitude de lois et de faits, on a cherché leur explication dans nombre d'hypothèses et de théories sur la structure de la matière : telles doivent rendre compte de la biréfringence, telles autres de l'élasticité, d'autres encore du magnétisme, des dilatations et ainsi de suite. Mais cependant, nous l'avons vu, les notions d'anisotropie sont sensiblement identiques sous leurs aspects variés, et tout spécialiste qui a eu l'occasion de s'occuper de ces phénomènes sait que ses connaissances spéciales n'étaient nécessaires que pour les points de départ et l'interprétation des résultats, que dans les raisonnements qu'il a faits les images qui ont aidé son cerveau ne différaient pas beaucoup de celles d'un morceau de bois ou d'un liquide en mouvement; et il serait dès lors bien surprenant que les images fondamentales invoquées par les théories ne fussent pas étroitement apparentées.

De fait aucun domaine des sciences naturelles n'offre, à ma connaissance, d'illustration plus typique de cette nécessité logique que celui qui nous occupe. Si l'on s'en tient à l'ensemble de la molécule, on peut dire que deux hypothèses fondamentales seulement ont suffi jusqu'ici pour rendre compte des anisotropies de la matière, ce sont :

I. — Les réseaux moléculaires (Bravais).

II. — Les orientations moléculaires.

On connaît généralement l'hypothèse des réseaux. On sait ses succès, on se souvient en particulier des retentissantes confirmations expérimentales qu'elle a vécues depuis cinq ans avec les travaux de Laue, W. L. & W. H. Bragg, de Broglie, Debye et leurs collaborateurs sur la diffraction et les interférences des rayons X ; on sait aussi inversement quels remarquables progrès elle a fait faire à la connaissance profonde et aux applications de ces rayons ; les réseaux moléculaires appartiennent maintenant aux connaissances les mieux assises sur la structure de la matière solide et je puis me dispenser de m'y arrêter.

Par contre nous allons faire de la seconde l'objet précis de notre causerie ; je me propose de vous montrer combien naturellement elle est suggérée par la notion même de l'anisotropie, puis quel a été son rôle dans le développement de la physique moléculaire et les formes diverses qu'elle a revêtues soit en cristallographie, soit en physique pure ; nous verrons combien elle s'est révélée commode et puissante en face des anisotropies naturelles comme des anisotropies provoquées. Nous la verrons envahir successivement les domaines les plus divers et y apporter des lumières nouvelles. En parcourant les phénomènes qu'elle a expliqués, ceux qu'elle a fait prévoir et découvrir, ceux qu'elle fait déjà présumer, nous nous convaincrions de son extrême fécondité. Nous rencontrerons des domaines où sa réalité profonde est hors de doute, d'autres enfin où introduite tout récemment, elle n'apparaîtra que comme un instrument provisoire de travail ; en ces divers stades elle a sans cesse contribué à mettre au jour des connaissances nouvelles sur les molécules elles-mêmes. A tout cela nous reconnaitrons les marques d'un instrument de raisonnement scientifique de tout premier ordre qui, en dépit de son âge déjà respectable puisqu'il date dans sa première

forme précise de quelque 60 ans déjà, est plus moderne que jamais dans le meilleur sens du terme puisqu'il n'a jamais été si utilisé que depuis dix ans ; et qui en outre rend possible l'explication par une même notion de quantité de phénomènes différents. Et cela justifiera, je l'espère, ma tentative d'aujourd'hui : *une esquisse d'ensemble de physique vue sous un angle particulier.*

En quoi consiste donc cette hypothèse ?

Notre morceau de bois va nous le suggérer de façon immédiate. Voilà un corps qui se comporte différemment dans une direction ou dans l'autre ... Grâce à quoi ? — A ses fibres évidemment ... ce qui veut dire que ce corps, homogène à premier examen, est en réalité constitué par des éléments allongés et sensiblement placés dans une *direction parallèle*, qui est une *direction privilégiée*. Imaginons cependant que nous soyons des géants de taille immense dont les yeux auraient par exemple la dimension de notre terre : les fibres du bois ne continueront-elles pas à jouer le même rôle et le bois en sera-t-il moins anisotrope ? Non, mais les géants constateront seulement la dissymétrie et n'en verront pas la cause structurelle. Changez d'échelle : les cristallographes constatant sur leurs cristaux des directions ou des faces de propriétés particulières sont dans la situation des géants par rapport au bois, ils sont conduits tout naturellement à reporter ces dissymétries jusqu'aux éléments ultimes de constitution, les molécules, qui cette fois joueront le rôle de nos fibres ou fragments de fibres. Cette simple conception a été au fond exclusivement celle des cristallographes depuis plus de cent ans ; pour eux les molécules orientées sont une notion beaucoup plus géométrique que physique ; ils diront par exemple : si toutes les molécules ont la forme de pyramides identiques et arrangées dans un réseau¹, les éléments correspondants étant tous tournés

¹ J'ai utilisé ici et ailleurs pour aider l'exposé oral la projection de diapositifs appropriés ; je ne les ai pas reproduits dans ce texte, pensant qu'ils sont superflus à la lecture. — De même, à propos des théories du magnétisme, j'ai projeté deux ensembles de petites boussoles identiques simulant les molécules, l'un avec une répartition quelconque, l'autre avec une répartition en réseau quadratique donnant une réalisation des direc-

dans le même sens, les différentes faces du cristal ainsi constitué présenteront des propriétés différentes, de même qu'un bloc formé de grains de blé placés tous parallèlement sera plus rugueux ou même plus dur sur les faces présentant des pointes que sur les autres.

Et nous trouverons d'ailleurs fort naturel que la cristallographie se soit contentée de cette conception géométrique et statique des orientations, si nous nous rappelons les buts qu'elle poursuit avant tout, d'abord la connaissance des formes extérieures et des propriétés optiques, choses qui se laissent le mieux du monde *décrire* au moyen de notions géométriques, et d'autre part, en ce qui touche la structure matérielle, elle était surtout préoccupée de rechercher les figures que forment les réseaux de molécules pour chaque cristal et non pas les propriétés de structure même de la molécule. Or qui dit orientations perceptibles à l'extérieur dit en même temps dissymétrie dans l'édifice moléculaire lui-même, et ce sont surtout les physiciens que préoccupent ces problèmes intra-moléculaires. D'ailleurs les cristallographes ont envisagé jusqu'ici extrêmement peu les forces qui maintiennent l'édifice des réseaux et par suite aussi fort peu les propriétés des molécules elles-mêmes. Laissons donc là pour quelques instants les idées des cristallographes, auxquelles d'ailleurs nous allons bientôt revenir par un chemin détourné, et voyons ce qui se passait pendant la même période dans le camp des physiciens.

C'est à dessein et je crois à juste titre que je sépare ces deux développements d'une même théorie, l'un en cristallographie, l'autre en physique. Car d'abord ces deux ordres de recherches, bien que s'appliquant à des problèmes apparentés, se sont poursuivis *en réalité* de façon indépendante, s'ignorant presque complètement, aussi étrangers que les eaux de deux fleuves provenant du même massif, coulant vers la même mer, mais

tions d'aimantation naturelle. Ces deux démonstrations ne sont que des variantes des très suggestives expériences de MM. C.-E. Guye et L. de la Rive [*Arch.* 1909, vol. 28, p. 105] à la description desquelles je renvoie. J'exprime à cette occasion mes meilleurs remerciements à mon collègue et ami, M. Guye, qui a mis à ma disposition avec la plus grande amabilité toutes les boussoles nécessaires.

dans deux bassins différents ; et d'autre part, la nature des questions était à peu près séparée par le classement même que nous avons rencontré, l'anisotropie naturelle s'offrant elle seule à la curiosité des cristallographes, les anisotropies temporaires ayant au contraire occupé presque exclusivement les physiciens. Enfin les explications étant bien nettement délimitées des deux côtés, nous pourrons mieux apprécier à sa juste valeur la théorie qui, pour la première fois, a réussi à expliquer par un même mécanisme de façon précise et claire des anisotropies accidentelles et des anisotropies naturelles.

D'emblée, le premier phénomène qui suggéra pour son explication l'hypothèse des orientations aux physiciens est une anisotropie temporaire : le phénomène de l'*aimantation*. Un corps aimanté est en effet, au sens que j'ai choisi, le siège d'une anisotropie accidentelle que l'on peut provoquer ou détruire à volonté, que l'on peut augmenter ou diminuer.

On sait comment Weber interpréta vers 1850 ce phénomène : par opposition à Poisson qui en 1821 admettait que, sous l'influence d'une force magnétique extérieure, chaque molécule *devient* un petit aimant, il supposa au contraire qu'en tout état d'un corps aimantable ses molécules sont d'avance un aimant permanent, un corps possédant les deux pôles sud et nord. Si cependant toutes les positions sont représentées, nulle part, en aucun point de sa surface, le corps n'apparaîtra plus positif que négatif, il sera *neutre*. Vienne une action extérieure, si les molécules jouissent d'une certaine mobilité en dépit de la structure du corps, elles se tourneront peu à peu dans le même sens et peu à peu l'un des côtés deviendra positif, l'autre négatif. Plus l'action directrice deviendra énergique, plus le parallélisme des directions sera complet, et plus le corps sera aimanté. La force extérieure disparaissant, nos petits aimants reprennent plus ou moins leurs anciennes positions, le corps demeure plus ou moins aimanté.

Nous touchons là du doigt dès le premier examen le contraste avec la conception des cristallographes d'après laquelle on n'envisage que des molécules toutes orientées complètement ou pas du tout ; ici rien de cela, les molécules sont mobiles, pas du tout

alignées en réseaux, et plus ou moins orientables à volonté; dans les deux cas on postule cependant de toute nécessité une *dissymétrie dans la molécule elle-même*. Nous avons gagné par là une image extrêmement simple pour expliquer les dissymétries variables d'un ensemble; en fait, perfectionnée dans les détails, l'hypothèse de Weber guida avec succès les recherches magnétiques pendant une cinquantaine d'années, mais cependant dans le champ restreint du ferromagnétisme, et même ici on dut se contenter d'explications qualitatives.

Un progrès énorme fut réalisé il y a douze ans, marquant une nouvelle étape dans la théorie des orientations temporaires; il permit tout d'abord l'explication quantitative du paramagnétisme, puis rendit possible d'étonnantes généralisations à des phénomènes en apparence singulièrement éloignés: je veux parler de l'introduction de ce que les physiciens appellent l'*agitation thermique*.

On est obligé d'admettre aujourd'hui que les molécules sont douées de mouvements perpétuels extrêmement variés, capricieux, rapides, même violents; dans les gaz et les liquides, ils sont maintenant démontrés directement par le mouvement brownien entre autres; dans la matière solide, si nous sommes obligés d'exclure les mouvements de translation, tout porte au contraire à penser que les molécules ne sont pas moins secouées par des oscillations ou des rotations que dans les gaz. Et tout ce désordre est dominé par une grande loi: *l'énergie de ces mouvements est proportionnelle en première approximation à la température absolue*. En langage moins abstrait, les molécules d'un corps sont d'autant plus violemment agitées qu'il est plus chaud.

A la suite de M. Langevin attribuons cette propriété¹ supplémentaire à nos petits aimants moléculaires. Nous nous représenterons sans peine l'allure générale des phénomènes: une molécule ne se trouvera dans une direction donnée qu'un instant très court, elle passe successivement et sans régularité par toutes les directions possibles, et nous pourrions dire que dans l'ensemble cette agitation thermique produit un *brassage* per-

¹ LANGEVIN, *Ann. Chim. et Phys.* (8) 5, (1905), p. 70.

pétuel des diverses directions, tendant à détruire sans cesse tout ordre établi temporairement même dans un corps solide; un corps aimanté tendra donc toujours de lui-même à se désaimanter; il faudra par conséquent l'action ininterrompue d'une

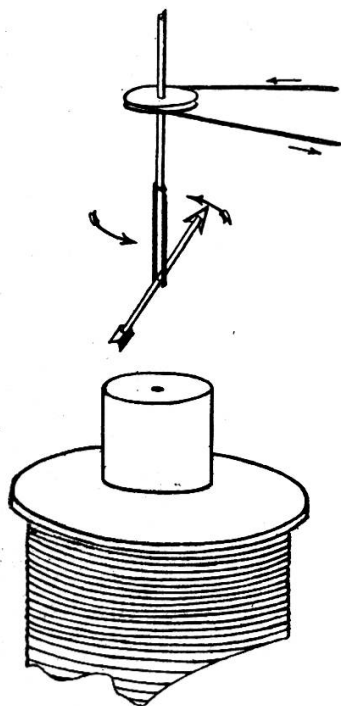


Fig. 1.

forme extérieure pour maintenir une certaine orientation *moyenne* et on pourrait caractériser ce jeu des forces de la nature par une lutte sans trêve entre les puissances de l'ordre — les agents d'orientation qui peuvent être encore autre chose que des champs magnétiques — et la puissance du désordre qu'est l'agitation thermique. Enfin les orientations seront d'autant plus complètes en moyenne que l'agent d'ordre est plus puissant, d'autant moins au contraire que l'agitation est plus violente, c'est-à-dire *que la température est plus élevée*¹. Et ainsi Langevin trouve une explication remarquablement claire de la loi de Curie exprimant que la susceptibilité paramagnétique est inversement proportionnelle à la température absolue.

Comme mon but n'est pas de vous entretenir particulière-

ment de vous entretenir particulière-

¹ Pour illustrer de la façon la plus directe l'effet de l'agitation thermique, je me suis servi de l'expérience suivante qui se projette très bien devant un nombreux auditoire et qui m'est venue à l'esprit en parcourant les recherches magnétocinétiques de M. H. du Bois [*Acad. Amsterdam*, 10 (1902), p. 415 et 506]: Une petite flèche d'acier aimantée (figure 1) peut pivoter en son milieu dans un étrier qui lui permet de prendre toutes les positions entre 0° et 180° dans un plan vertical. L'étrier lui-même forme l'extrémité d'un axe vertical auquel une commande quelconque imprime une vitesse de rotation variable à volonté. La flèche se trouve en même temps dans le champ d'un pôle d'électro-aimant placé au-dessous. Il est manifeste que l'action du champ et celle de la rotation seront antagonistes et que la flèche décrira un cône dont l'ouverture croît avec le nombre de tours et diminue lorsque le champ augmente. La réussite nette de cette expérience nécessite une mise au point assez soignée.

ment de magnétisme, je ne fais que noter au passage que cette théorie a suscité et guidé en quelques années un ensemble de travaux imposant par leur nombre, mais plus encore par leur richesse en résultats soit phénoménologiques, soit sur le monde moléculaire¹. Nous allons d'ailleurs les retrouver.

Laissons donc provisoirement de côté le magnétisme et jetons les yeux sur un domaine complètement étranger au premier abord : les anisotropies optiques, anisotropies accidentelles bien entendu ; on sait depuis longtemps déjà que des corps parfaitement isotropes par eux-mêmes (tel le verre) peuvent temporairement présenter de la biréfringence, se comporter donc comme des corps cristallisés ; on peut provoquer ce phénomène simplement par exemple en déformant le verre. Or, il est possible d'observer semblables modifications de la matière par un moyen purement *électrique* : du verre, de nombreux liquides, quelques gaz, interposés entre deux nicols croisés à extinction, rétablissent la lumière et produisent des franges d'interférences lorsqu'on fait agir sur eux les pôles d'une machine électrique de haut voltage. Ces corps deviennent donc temporairement biréfringents et la direction de la force électrique, du champ, est la direction privilégiée jouant le rôle d'axe d'un cristal. Telle est la belle découverte de Kerr, découverte vieille d'une trentaine d'années déjà ; je vais revenir sur son explication, mais je préfère indiquer immédiatement à la suite le phénomène parallèle produit par les forces magnétiques cette fois. Remplaçons simplement les pôles de la machine électrique par ceux d'un puissant électro-aimant et de nouveau une série de corps isotropes prennent les propriétés optiques d'un cristal à un axe, l'axe étant la direction du champ magnétique ; cette action a été découverte beaucoup plus récemment par Majorana sur des solutions colloïdales de sels de fer. Ces phénomènes demeurèrent presque isolés aussi longtemps qu'on n'eut pas trouvé une explication qui les reliât commodément, bien qu'on ait proposé des théories intéressantes qui s'adressaient soit à l'intérieur de la

¹ Voir en particulier les recherches sur le paramagnétisme de H. du Bois, G. Foëx, K. Honda, H. Kamerlingh Onnes, W. H. Keesom, E. Oosterhuis, M. Owen, A. Perrier, P. Weiss, etc.

molécule exclusivement, soit à des formations rudimentaires de réseaux.

MM. Cotton et Mouton¹, dans une série remarquable de recherches de plusieurs années, choisirent pour se guider l'hypothèse ici entièrement nouvelle des orientations, orientations soit des granules en suspension des colloïdes, soit des molécules elles-mêmes pour les liquides purs. Ainsi, pour ces auteurs, le champ électrique comme le champ magnétique produisent le même effet sur les molécules, un changement moyen et faible de direction, l'effet optique est une répercussion secondaire de cette orientation; et l'on ne s'étonne plus qu'il se manifeste de la même façon dans ces deux cas cependant si différents; une théorie complète sur la base de cette hypothèse a été publiée plus tard par Langevin².

Les travaux de Cotton et Mouton ont mis au jour un nombre imposant de faits nouveaux et de lois claires; la découverte de la biréfringence magnétique de nombreux liquides purs et en particulier de ceux de la série aromatique suffirait déjà à les classer et à classer aussi la fécondité de la théorie qu'ils ont adoptée; aucun de ces résultats n'est en désaccord avec elle, nombreux sont ceux qui en sont des appuis très sûrs; je cite seulement ce point qui, fondamental, reviendra incessamment dans nos considérations: celui de l'affaiblissement du phénomène avec l'accroissement de la température que fait prévoir comme pour le magnétisme l'agitation thermique. Et les questions posées par la théorie sont maintenant l'objet d'une quantité de travaux dans les laboratoires de l'Ancien et du Nouveau Monde. D'autre part, il est évident que toutes ces acquisitions de faits ont contribué à enrichir nos connaissances sur la structure des molécules et ce chapitre-là plus que d'autres, car si les orientations interviennent dans la biréfringence, la molécule doit de toute nécessité présenter à la fois des dissymétries électriques, magnétiques et optiques; la mesure des phénomènes permettra donc de mesurer ces divers caractères et de s'approcher de leurs causes.

¹ COTTON et MOUTON, *Ann. Chim. et Phys.* 11 (1907), p. 145 et 289; IDEM, 19 et 20 (1910), p. 194.

² LANGEVIN, *Radium* 7 (1910), p. 249.

Je crois nécessaire de noter ici combien il a fallu faire preuve d'intuition et d'audace pour appliquer une théorie semblable dans son idée directrice à celle du magnétisme à des substances (composés organiques en particulier) dont les réactions proprement magnétiques sont à peu près imperceptibles, et plus encore, puisque diamagnétiques, sont précisément *l'inverse* de celles que présentent le fer et ses composés.

Et cette audacieuse intuition nous aplanit une voie où l'on pouvait hésiter à s'engager, l'explication de l'analogie électrique exacte de l'aimantation par influence, la polarisation des diélectriques; car en effet, admettre pour la biréfringence électrique un parallélisme de particules électriquement dissymétriques revient au fond à remplacer dans la théorie du magnétisme les pôles magnétiques des molécules par des charges électriques et par suite à provoquer sur la surface du corps l'apparition de charges *électriques*; nous avons du même coup, consciemment ou non, introduit les orientations dans la théorie des diélectriques. Cette idée a été poursuivie par le calcul indépendamment par MM. P. Debye et J. J. Thomson¹. Cependant cette adaptation de la théorie du magnétisme est plus compliquée que cette dernière car ici la théorie de Poisson, modernisée par Lorentz, contient certainement une part de vérité: la polarité des molécules dépend de l'action extérieure et ce que l'on obtient est l'effet résultant de celui-ci et des orientations. Il n'est pas encore permis actuellement d'affirmer que cette théorie récente soit applicable dans un grand nombre de cas, mais elle a seule rendu compte jusqu'ici des variations thermiques des constantes diélectriques, a suscité quelques travaux intéressants et va en susciter beaucoup dont le premier but sera de décider de sa légitimité.

Avant d'introduire dans la théorie une nouvelle hypothèse et de nous aventurer dans des considérations plus complexes, donnons un coup d'œil en arrière. L'histoire du développement *physique* que nous venons de parcourir s'étend sur quelque 60 ans; nous nous sommes contenté d'en marquer les étapes

¹ DEBYE, P. *Phys. Zeitschr.*, 13 (1912), p. 97.

THOMSON, J. J. *Phil. mag.* (6), 27 (1914), p. 757.

principales par quatre groupes de phénomènes qui se présentent avec le caractère commun *d'anisotropie temporaire provoquée soit par le champ magnétique soit par le champ électrique*. Et les théories invoquées pour leur explication contiennent une hypothèse commune au moins, l'orientation incomplète et variable des molécules. Outre la clarté et l'élégance des explications ainsi obtenues, nous avons pu soupçonner par la diversité même des applications, la richesse des résultats, lois ou faits expérimentaux obtenus en se laissant guider par ces théories; les aperçus sur les édifices moléculaires eux aussi sont apparus en quantité. Cependant les étapes n'ont pas été réparties régulièrement dans le temps. 50 ans durant, l'hypothèse ne s'est guère appliquée qu'au ferromagnétisme : ce n'est guère que depuis une dizaine d'années que toutes les extensions ont été possibles et fécondes, depuis l'introduction de l'agitation thermique, c'est-à-dire la création de théories cinétiques dérivant de la *mécanique statistique*. Cette extension marque par elle-même une date importante de la physique théorique, mais elle fait mieux comprendre aussi, par la difficulté mathématique de ces théories, pourquoi les cristallographes et les physiciens sont demeurés si séparés dans la mise en valeur d'un domaine qui leur est propriété commune.

Cependant entre ces deux sortes de recherches, entre ces deux bassins fluviaux comme je disais plus haut, un premier et large canal a été creusé il y a une dizaine d'années par lequel leurs eaux peuvent communiquer et se mêler: en 1907, M. P. Weiss publiait sa théorie du *champ moléculaire* et de *l'aimantation spontanée*¹. Arrêtons-nous à ces notions entièrement nouvelles et inattendues à leur apparition.

Il faut chercher l'origine de cette théorie à la fois si logique et si audacieuse dans une longue série de recherches cristallomagnétiques du même auteur sur la pyrrothine en particulier qui le conduisirent finalement à admettre contre toutes les apparences connues jusqu'alors que les *éléments cristallins suffisamment petits ne peuvent être aimantés qu'à un seul degré, le maximum, la saturation*; toute autre valeur de l'aimantation

¹ WEISS, P. *Journ. de Phys.* (4). VI (1907), p. 661.

est impossible, même sous une force influençante nulle et cet état a été caractérisé par le terme frappant *d'aimantation spontanée*. Peu de temps après, ces notions curieuses exprimées, tout d'abord sous une forme purement géométrique, trouvaient leur consécration et leur explication dans la *théorie du champ moléculaire* du même physicien. Celle-ci greffe, comme on sait, sur la théorie cinétique du paramagnétisme de Langevin les actions des molécules les unes sur les autres qu'elle suppose avoir le même effet qu'un champ magnétique, extrêmement intense d'ailleurs, proportionnel au degré d'aimantation atteint; le résultat est une aimantation énorme, *l'aimantation spontanée* précisément, qu'aucune force que nous sachions produire n'est capable d'augmenter notablement; c'est donc la *saturation*.

Mais cela ne veut en aucune façon dire que toutes les molécules soient parallèles, il s'agit bien d'un équilibre *moyen* entre l'effort directeur des forces intermoléculaires et l'effet antagoniste de nous maintenant bien connu de l'agitation thermique. Les conséquences les plus immédiates de cette théorie s'en déduisent sans difficultés: sans que les molécules soient modifiées, l'aimantation spontanée doit toujours diminuer par le chauffage et plus encore *doit disparaître à une certaine température*: ce sont des faits que les expériences avaient mis depuis des années en évidence pour tous les corps ferromagnétiques et qui étaient demeurés des énigmes; Curie seul avait soulevé auparavant un coin du voile qui recouvrait leur origine profonde. Par là, l'extension de cette théorie à tous les corps ferromagnétiques et non plus seulement à la pyrrothine où l'application en est évidente apparaissait comme une nécessité.

D'ailleurs, immédiatement, cette nouvelle théorie du ferromagnétisme donnait mieux encore la mesure de sa valeur et de sa fécondité en posant une série de questions expérimentales nouvelles et faisant prévoir de nombreux phénomènes pour la plupart insoupçonnés. Et une brillante série de recherches expérimentales en sortirent dont un résumé aurait sa place tout naturellement marquée ici et eût été la plus éloquente démonstration possible de ce que j'avance, si la voix autorisée de celui qui les a dirigées ne les avait exposées à notre assemblée géné-

rale d'Altorf¹; je dois donc me borner à rappeler leurs résultats saillants: les variations des chaleurs spécifiques, leurs discontinuités en particulier, l'analyse de la structure des alliages métalliques où entrent des corps ferromagnétiques et la découverte de nouvelles combinaisons dans ces alliages, les valeurs des saturations absolues (aux températures extrêmement basses), les lois remarquables et étranges sur les susceptibilités dites « initiales », la rationalité des moments magnétiques moléculaires et le magnéton. d'autres encore.

Depuis lors la poursuite quantitative des conséquences de cette théorie m'a donné la première image théorique claire des fonctions thermomagnétiques dans des champs quelconques et inversement il en est sorti une nouvelle série d'observations à lois remarquablement simples dans des régions où tout semblait obscur².

Je souligne seulement que cette moisson d'une dizaine d'années est riche aussi bien en lois phénoménologiques qu'en renseignements sur les constructions moléculaires, que d'autre part elle comprend de nombreux résultats qui sortent du cadre strict du magnétisme (chaleurs spécifiques, alliages).

Cependant, gardons-nous de perdre de vue au milieu de ces nouvelles recherches dont l'ensemble est si ample et si varié nos buts généraux. Considérons encore une fois cette notion physique qui a joué dans tous ces travaux le rôle prépondérant, qui a été la lumière évitant aux chercheurs les tâtonnements infructueux dans le choix des questions, qui leur a permis enfin l'interprétation claire des résultats, l'aimantation spontanée; mais considérons-la d'un point de vue moins particulier. Un fragment de matière spontanément aimanté, c'est, n'est-ce pas, tout simplement un corps dont toutes les molécules sont tournées de préférence dans une même direction et cette orientation est naturelle, elle subsiste en l'absence de tout agent extérieur; vous avez tous reconnu là *une réalisation concrète et vérifiée de*

¹ WEISS, P. *Arch.* 1912, vol. 34, p. 98, aussi *Verh. Schw. Nat. Ges.*, 1912, II, p. 59.

² PERRIER, Alb. *Arch.* 1909, vol. 28, p. 5, 119, 237; *id.* 1913, vol. 34, p. 360.

PERRIER, A. et BALACHOWSKY, G. *Arch.* 1916, vol. 42, p. 321.

l'hypothèse abstraite de la cristallographie, et j'étais fondé par conséquent à exprimer que cette aimantation spontanée est le premier trait d'union entre la cristallographie géométrique et les anisotropies des physiciens.

Mais combien cette nouvelle forme de l'hypothèse n'est-elle pas plus précise, plus perfectionnée et plus profonde : la dissymétrie représentée par les pôles magnétiques n'est plus une conception plus ou moins géométrique, elle est connue, elle a pu être mesurée, on sait le moment de ces pôles ; en outre on sait dans les grandes lignes comment agissent les forces qui maintiennent ainsi les molécules ; on sait ensuite, progrès énorme, que cette orientation n'est qu'une manifestation moyenne, chaque molécule étant en mouvement ; on a enfin quelques données sur les lois de ce mouvement et, comme suite de ces connaissances en partie certaines, on sait par quels agents extérieurs l'anisotropie ainsi résultante peut être modifiée, on peut prévoir dans quel sens et de combien...

Malheureusement il apparaît que nous sommes très vite limités dans l'étendue d'application de cette théorie et cela par la nature des choses : préciser des hypothèses permet souvent, nous l'avons vu ici, de tirer de l'expérience des résultats plus riches et de les tirer plus directement, mais en tout état de cause cela limite d'autant le domaine d'applications : de fait l'aimantation spontanée, caractéristique du ferromagnétisme, n'a de signification que pour le très petit nombre de cristaux de fer, nickel, cobalt et autres qui possèdent cette propriété.

Mais si grands ont été les progrès acquis en peu de temps, si séduisante est cette théorie, et d'autre part si générale et indispensable est la notion cristallographique de l'orientation que l'idée d'une vaste extension va s'imposer à notre esprit et que nous ne pourrons y renoncer qu'à grand'peine ; d'autres phénomènes d'anisotropie naturelle, d'anisotropie cristalline peuvent-ils s'expliquer également par des orientations spontanées d'un mécanisme semblable à celui rencontré par le magnétisme ? Et plus généralement encore tous les cas d'orientation invoqués par les cristallographes pourront-ils peut-être se ramener à une théorie unique coïncidant quant à sa forme avec celle du magnétisme, c'est-à-dire où interviendraient de la même façon

l'agitation thermique et son corollaire, une orientation moyenne stable, mais où seraient différentes la nature de la dissymétrie moléculaire et celle des forces mutuelles directrices des molécules ? Notons que si la réponse devait être positive elle constituerait en particulier un progrès énorme dans le sens de l'unification des théories des anisotropies temporaires et des anisotropies des cristaux.

Je vais essayer de donner quelques réponses nouvelles à ces questions brûlantes, quelques réponses partielles et non pas *la* réponse, car nous entrons ici dans des domaines de recherches des plus récents, dans des régions où l'on utilise comme on dit des « hypothèses de travail » sans se rendre compte encore dans quelle mesure elles supporteront l'épreuve de l'expérience, dans des régions où les quelques chercheurs qui les explorent sont loin d'être d'accord sur la valeur des outils théoriques qu'ils utilisent respectivement.

Considérons dès l'abord un phénomène singulièrement éloigné en apparence de ceux qui nous intéressaient jusqu'ici : le courant électrique à travers un conducteur métallique ; son interprétation moderne dans la théorie des électrons a revêtu deux formes différentes.

L'une presque uniquement admise sur le continent (Drude, Lorentz, Riecke) et calquée sur la théorie cinétique des gaz, nous intéresse au point de vue où nous nous plaçons beaucoup moins que l'autre, celle de M. J.-J. Thomson, dont voici l'idée générale : le courant électrique est un perpétuel passage d'électrons négatifs des molécules à leurs voisines ; cependant celles-ci, à la manière de petits canons, ne projettent leurs électrons que dans des directions particulières et par suite il ne peut y avoir *courant* dans un sens déterminé que lorsque les molécules sont orientées de préférence dans ce sens, le courant est d'autant plus intense que cette orientation est plus complète. Pour comprendre la loi d'Ohm, il suffit d'admettre que les molécules ont chacune deux pôles électriques positif et négatif et que par conséquent un champ électrique (provenant de la différence de potentiel) tend à faire tourner, à braquer ces petits canons ; d'autre part l'agitation thermique produit un dérangement

continuel des directions, et nous trouvons ainsi de la façon la plus immédiate l'augmentation bien connue de la résistance métallique avec la température ; dans un tout autre ordre d'idées c'est au fond un raisonnement analogue à celui de Langevin pour le magnétisme.

Cependant, sans nous arrêter à des objections possibles, poursuivons des considérations analogues à celles déjà vues plus haut, imaginons des actions mutuelles des molécules suffisantes pour qu'au-dessous d'une certaine température elles s'orientent *d'elles-mêmes* énormément... nous serons tentés de reculer devant la conclusion stupéfiante qui en découle, celle-ci : *un fil pourrait être le siège d'un courant électrique sans cause pour l'entretenir, sans dépense continue d'énergie*, sa résistance serait *nulle* ! Or, cet étonnant résultat, il a déjà été observé bien avant qu'on le prévoie : la retentissante découverte des supraconducteurs, par M. Kamerlingh Onnes est dans toutes les mémoires des physiciens, on sait maintenant que certains métaux rigoureusement purs, le mercure par exemple, n'opposent plus de résistance perceptible au passage du courant lorsqu'ils sont refroidis à quelques degrés du zéro absolu. Et de fait M. J.-J. Thomson¹ lui-même a publié il y a peu de temps une étude quantitative de la conduction sur ces bases.

Bien entendu il n'est absolument pas démontré que les choses se passent ainsi, mais précisément cette incertitude peut souligner la fécondité et la commodité de ces interprétations qui font apparaître presque tout naturels des faits encore incompréhensibles dans toute autre théorie actuellement connue. Et nous rencontrons en outre ici un bel exemple d'une explication commune à des phénomènes d'anisotropie, l'une temporaire et variable, l'autre stable, car, et il n'est peut-être point inutile de le remarquer, un conducteur parcouru par un courant a une direction privilégiée et est un système anisotrope au sens où nous l'avons entendu jusqu'ici.

De cette fantastique conductibilité de la matière transportons-nous d'un seul bond à ces propriétés électriques qui sont à l'autre extrême, aux phénomènes des parfaits isolants. J'ai

¹ THOMSON, J. J. *Phil. mag.* (VI), 30 (1915), p. 192.

esquissé tout à l'heure le fondement de la théorie de la polarisation des diélectriques basée sur l'orientation de molécules possédant des pôles électriques ; faisons intervenir de même que dans les supraconducteurs des actions réciproques ... nous nous trouvons en face d'une conséquence possible analogue à l'aimantation spontanée mais électrique cette fois, nous sommes amenés à concevoir des éléments de matière présentant tous leurs pôles de même signe du même côté, des éléments *électrisés à saturation* en l'absence d'agents extérieurs (sans être soumis à aucune influence électrique). Toutefois cet état de polarisation naturelle et permanente n'apparaîtra pas du tout, comme pourraient le faire croire les observations faciles et immédiates, sur l'aimantation rémanente, car en effet tout corps, si fortement électrisé et bien isolé soit-il, se neutralise en tout état de cause par l'apport lent des charges de l'air. Seule une modification quelque peu rapide dans cette électrisation cachée pourra faire apparaître des pôles sur le corps, et seuls les phénomènes rares et d'une observation difficile de la pyro-électricité et de la piézo-électricité peuvent correspondre à ces prévisions ; on se rappelle en quoi ils consistent : certains cristaux, chauffés ou refroidis, comprimés ou dilatés, d'une façon générale déformés, réagissent par l'apparition de charges électriques positive et négative, lesquelles sont d'autant plus fortes que les déformations élastiques ou les variations de température sont accentuées¹.

La possibilité d'interpréter ces phénomènes par une électrisation spontanée, ainsi que je viens de le dire, paraîtra assez séduisante ; en effet une déformation, c'est-à-dire une variation des distances moléculaires, causera sans doute des variations des

¹ J'ai décrit sommairement ces phénomènes en m'aidant d'une expérience de piézo-électricité qui peut faciliter considérablement l'exposé à un grand auditoire non préparé, si on la monte avec suffisamment de soin dans la forme suivante : Un bloc de quartz poli est serré dans une petite presse à vis ; on projette *côte à côte* (sur un même écran) l'image de la presse entière placée entre deux nicols et celle d'un petit électromètre à feuille suffisamment sensible relié à une armature du quartz. Il est manifeste que toute déformation s'observera sur l'écran à la fois par les effets d'interférence et par la réaction électrique ; tout est ainsi directement et simultanément visible, la cause excitatrice et les réactions anisotropes de la matière.

forces mutuelles et d'autre part un changement de la température, c'est-à-dire une modification de l'agitation thermique, signifie toujours une perturbation des directions moyennes; dans les deux cas la conséquence est une variation de l'électrisation spontanée et la manifestation extérieure l'apparition de charges piézo ou pyro-électriques.

J'ai cherché, en développant cette théorie, quelles sont ses conséquences que l'expérience peut atteindre et ces travaux entrepris très récemment m'ont déjà donné des résultats pleins de promesses tant en faits jusqu'ici inconnus qu'en explications de lois empiriques dont l'origine restait obscure; je cite: on doit attendre une variation thermique et en particulier une température à laquelle la piézo ou la pyro-électricité disparaissent complètement, et (phénomène jusqu'ici entièrement insoupçonné) cette température a été effectivement observée pour le quartz déjà (vers 580°); elle s'est révélée identique avec celle de la transformation du quartz α en quartz β découverte par M. H. Le Chatelier au moyen des dilatations. En outre par cette théorie appuyée de la découverte de la disparition de la piézo-électricité, la nature de cette transformation $\alpha \beta$ semble se dévoiler comme l'analogie électrique du passage du fer α au fer β par le point de Curie. Ensuite une telle transformation ainsi interprétée doit être accompagnée d'une diminution considérable de l'énergie interne de la matière, soit par des *anomalies des chaleurs spécifiques*... Quelques mesures encore sommaires ont vérifié avec certitude cette prévision sur le quartz toujours... et même les propriétés optiques les plus caractéristiques de l'état cristallin, la biréfringence et la polarisation rotatoire, semblent se montrer en relation très nette avec notre structure hypothétique; par suite celle-ci projette je crois un jour nouveau sur la question extrêmement complexe des variations thermiques de ces phénomènes optiques¹.

Chercherons-nous encore de nouvelles extensions? Toutes celles que nous avons tentées concernaient ou des anisotropies naturelles de cristaux ou celles de matière solide ou liquide

¹ PERRIER, Alb. Société suisse de physique, Berne, 1916; *Arch.* 1916, vol. 41, p. 493.

naturellement isotrope, mais pouvant apparaître sous l'action temporaire de champs magnétiques ou électriques ; deux états particuliers de la matière n'appartenant en somme ni à l'une ni à l'autre de ces classes nous permettront peut-être semblables extensions, l'un les *cristaux liquides*, l'autre les *couches capillaires*. Ici nous entrons de plus en plus dans le domaine des hypothèses possibles seulement.

Les cristaux liquides de Lehmann, ces systèmes microscopiques, liquides par leur consistance, très fortement dissymétriques par leurs propriétés optiques et même magnétiques, ont donné lieu à nombre de théories, et les orientations sans plus de précision ont naturellement aussi été invoquées. Je pense qu'ici mieux qu'ailleurs il y a lieu de faire appel à des orientations spontanées très accentuées par suite de l'absence probable de réseau proprement dit. Il y a là sans doute un champ de travail très intéressant et quelques résultats remarquables de M. Mauguin semblent bien appuyer cette espérance.

Qu'avons-nous enfin à espérer de la considération de cette région extrêmement mince du liquide qui avoisine sa surface libre, celle que l'on appelle la couche capillaire ? — Beaucoup je crois, tellement que son étude à la lumière d'idées récentes est appelée sans doute à rajeunir toute la théorie des fluides. Preuves en soient les recherches récentes de M. Lenard¹ sur ce phénomène en apparence très lointain du dégagement de l'électricité par la pulvérisation de liquides (« Wasserfallelektrizität »). Pour leur auteur, la surface libre est une double couche d'électricité positive et négative, et on pourra expliquer cette polarité par une position perpendiculaire de toutes les molécules voisines de la surface qui présenteront leurs pôles électriques de même nom à l'extérieur, à la façon des piquants sur la peau d'un hérisson. Et d'où cette orientation ? — Des forces des molécules les unes sur les autres, dont l'existence est bien établie et qui sont évidemment normales à la surface libre dans son voisinage. Et par là, remarquons-le, nous voilà ramenés, sans que nous nous y soyons attendus, en plein dans la théorie de *phénomènes isotropes* au premier chef la compressibilité des

¹ LENARD, P. *Ann. der Phys.* (4), 47 (1915), p. 463.

fluides, car les forces que je viens de rappeler ne sont autres que celles auxquelles Van der Waals a fait appel dans sa synthèse à jamais célèbre de l'ensemble des phénomènes de variabilité du volume des gaz et des liquides qui l'a conduit à l'explication de la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux. Par là nous serons conduits à envisager ces forces comme électriques et on est déjà en train de tirer de cette conception nombre de vues nouvelles sur la cohésion et les molécules; en particulier le physicien hollandais W.-H. Keesom¹ a déjà montré la fécondité de cette voie indépendamment de Leonard et dans une toute autre direction en perfectionnant l'équation d'état des fluides à l'aide de forces moléculaires électriques...

Que nous voilà loin, n'est-il pas vrai, des premières hypothèses de Weber! Nous voilà engagés profondément dans des problèmes qui touchent au fond à la question de la structure cristalline, c'est-à-dire en fait de toute la matière solide, mais aussi aux liquides et aux gaz ainsi qu'aux états aberrants, cristaux liquides et couches capillaires, mais encore d'une façon générale à la constitution des molécules et des atomes; nous voilà engagés dans des problèmes pour la solution desquels tous les domaines de la physique sont mis à contribution, thermique, électricité, magnétisme, optique, magnéto- et électro-optique.

Irons-nous plus loin encore, pourrons-nous avec le même sauf-conduit franchir d'autres seuils? Je le pense, mais nul ne saurait l'affirmer; n'oublions pas que les faits que je viens de rappeler ne rentrent pas tous nécessairement dans le cadre que nous avons essayé de leur adapter. Je m'étais proposé de vous conduire aussi loin que possible actuellement, mais à mesure que nous nous sommes éloignés des premiers phénomènes du ferromagnétisme pour lesquels l'hypothèse a été créée, l'adaptation devient plus arbitraire et souvent plus malaisée; n'oublions pas, pour nous garder de toute témérité, l'histoire des théories de Fresnel pour les phénomènes lumineux qui, malgré leur admirable harmonie et leur insurpassable clarté, ont dû

¹ KEESOM, W. H. *Communications Leiden*, Supplem. to vol. VII, nos 24b, 25, 26 (1912).

finalement renoncer à s'adapter à la suite incessante des découvertes de l'expérience.

Je pose malgré tout deux questions qui voudraient être des jalons. — Verrons-nous peut-être le problème des forces qui causent l'affinité chimique attaqué et peut-être élucidé en provoquant ou utilisant des orientations d'ions ou d'atomes ? — Pénétrons-nous quelque jour, en nous aidant des positions particulières des molécules, naturelles ou forcées, le mystère à peu près complètement insondé des forces de cohésion de la matière solide, de celles qui maintiennent l'édifice des formes cristallines ? Et serons-nous même appelés à construire une théorie magnétique ou électrique de l'élasticité ? Rien n'interdit de le penser, une tentative dans ce sens a été faite par Schrödinger¹, ce que nous avons vu sur la capillarité peut le suggérer, une note récente de Debye et Scherer² est suggestive à cet égard, des essais faits dans mon laboratoire pourront, j'espère, donner d'utiles renseignements à bref délai. Et ce ne sont pas là les seuls chemins ouverts. — Ne nous y engageons pas. Après ce furtif regard dans un avenir incertain, donnons plutôt un rapide coup d'œil en arrière, essayant de mesurer le chemin parcouru.

Le point de départ, dans son acception la plus générale, est une hypothèse de prime abord purement géométrique : nous admettons l'existence d'objets pouvant tourner, en sorte que si leurs positions respectives sont plus ou moins parallèles à une direction donnée, l'ensemble de ces objets manifeste des propriétés particulières dans cette direction ; mais pour obtenir ce résultat, il est indispensable d'admettre en plus que chacun des objets coïncidant généralement avec ce qu'on appelle les molécules, possède une dissymétrie dans sa structure même. En précisant la nature physique de cette dissymétrie, on sort de la géométrie et on fixe par quel genre de phénomène l'ensemble, le corps, manifestera une anisotropie. D'où la possibilité de l'application de la même base générale aux domaines les plus divers.

¹ SCHRÖDINGER, *Wiener Berichte* IIa, 121 (1912), p. 1937.

² DEBYE et SCHERER, *Phys. Zeitsch.* 18 (1917), p. 290.

Avec ce point de départ identique, on doit retrouver à travers la variété des phénomènes des lois de variations parentes. C'est le cas très particulièrement pour l'effet des variations de température que la théorie explique pour tous les cas en greffant sur l'hypothèse de l'orientabilité celle de l'agitation thermique régie par les lois de la mécanique statistique, ou celles plus récentes de la *théorie des quanta*. Cela constitue un second stade.

En faisant intervenir en troisième lieu dans la théorie précédente des forces intermoléculaires, on est conduit à la conception de *polarisations spontanées* qui s'est révélée extraordinairement féconde déjà dans le magnétisme, qui a conduit tout récemment à des succès nets mais isolés encore en électricité et en optique et qui, peut-être, est destinée à pénétrer toute la cristallographie. En observant que ces théories constituent une première interprétation des anisotropies accidentelles et des anisotropies naturelles par les mêmes mécanismes, qu'en particulier elles contribuent à faire rentrer dans la théorie électromagnétique l'optique cristalline, nous mesurerons le très grand intérêt que doit leur reconnaître la philosophie naturelle.

Et nous avons pu voir que le nombre des phénomènes est très considérable dont nous obtenons ainsi une explication souvent très claire, que ces phénomènes se rencontrent sur un front très large déjà et qui s'élargit chaque jour, ainsi que nous l'avons pressenti à propos des cristaux liquides, des supraconducteurs, des couches capillaires, d'autres encore.

Mais d'un tout autre côté les vues sur la constitution de la matière et de ses éléments les plus petits, cet aspect de la physique qui répond le plus complètement à la curiosité de l'esprit humain a été, lui aussi, richement doté par notre instrument théorique : je me contente d'énumérer ce que l'on a obtenu déjà en précieuses données ou obtiendra sans aucun doute dans un délai pas trop grand : les moments magnétiques moléculaires, puis leur conséquence le magnéton, les liaisons des atomes entre eux, leurs oscillations ou leurs rotations, leurs charges électriques, les forces de molécule à molécule.

Et nous n'avons pas même effleuré le terrain des applications techniques. Ce n'est pas faute de matière !

Et nous n'avons pas discuté non plus, car la chose est trop

évidente, de l'enrichissement réciproque que les physiciens et les cristallographes retireront d'un contact plus étroit qu'il ne l'a été jusqu'ici; ils sont sans doute destinés à se rapprocher autant que les chimistes et les physiciens sur le terrain de la physico-chimie.

Enfin, il serait du plus haut intérêt de considérer en terminant l'ensemble parcouru de plus loin et de plus haut, cherchant à nous abstraire des faits particuliers aussi bien que des images et théories précisées, mais limitées dans leur domaine. Les uns et les autres forment un ensemble si vaste, le définitivement acquis est si riche, que l'on peut à bon droit se demander si les chercheurs n'ont pas été guidés plus ou moins consciemment par quelque loi plus générale et plus profonde, par quelque une de ces lois que notre intelligence ne réussit pas d'abord à voir sous la diversité déconcertante de la nature, que l'on commence à pressentir petit à petit et à qui, enfin, quelque cerveau de génie donne la forme claire et définitive qui les place au rang de ces colonnes de base que la science désigne du nom de *principes*.

Or, je pense que ce principe soupçonné a été formulé et depuis de longues années déjà : qu'on lise la première partie des œuvres de Pierre Curie¹, ces merveilleuses considérations sur les symétries que les découvertes retentissantes sur la radio-activité ont presque fait oublier par les physiciens; on y trouvera une simple phrase, résumé ultime de tant d'autres belles lois : *c'est la dissymétrie qui produit le phénomène*, phrase exprimant qu'un phénomène possède au moins tous les éléments de symétrie de ses causes et au plus toutes leurs dissymétries, et qui est en dernière analyse une expression du principe de causalité.

Nul ne saurait embrasser à première vue ce que contiennent ces quelques mots, mais ayant affaire ici à un principe fondamental de la philosophie naturelle, rien ne doit plus nous étonner dans l'inépuisable fécondité de recherches qui poursuivent des dissymétries sous toutes leurs formes. A quoi tendent

¹ CURIE, Pierre. Oeuvres publiées par la Société française de physique, Paris, 1908.

en effet tous les efforts dont j'ai cherché à vous donner une esquisse? A donner à la matière des directions privilégiées, à dévoiler celles qui, préexistantes, se dissimulent, à faire jouer en un mot, les dissymétries de la nature.

C'est la dissymétrie qui produit le phénomène, dit Pierre Curie, et sa parole domine de haut toutes nos théories moléculaires sur les phénomènes dirigés, de même que le second principe de la thermodynamique, de la dégradation de l'énergie, domine entre autres toutes les théories moléculaires sur les propriétés isotropes de la matière gazeuse, liquide ou solide. Et à la lumière de ce principe, peut-être tous nos efforts théoriques et expérimentaux vous apparaîtront-ils comme des confirmations scientifiques de cette règle de la vie pratique que le désordre cache ce que l'on cherche et que plus il y a d'ordre plus on trouve facilement ; tous nos efforts, dirai-je, tendent à mettre de l'ordre dans la matière afin d'y déceler les merveilleuses harmonies que la nature semble parfois avec un soin jaloux vouloir dissimuler.

Lausanne, Université, septembre 1917.
