
TRENTE-DEUXIÈME LECON.

Considérations générales sur l'acoustique.

Quoique cette branche fondamentale de la physique ait évidemment passé, comme toutes les autres, par l'état théologique et ensuite par l'état métaphysique, elle a pris, aussi complètement que la barologie, et presque depuis la même époque, son caractère scientifique définitif. Par une suite nécessaire de la nature beaucoup plus compliquée des phénomènes si délicats dont elle s'occupe, la théorie du son est certainement bien moins avancée que celle de la pesanteur, qui doit sans doute rester toujours supérieure à toute autre partie de la physique, quels que puissent être nos progrès futurs. Mais, malgré cette inévitable gradation, la positivité de l'acoustique est néanmoins tout aussi parfaite que celle de la barologie elle-même, depuis que la connaissance exacte des propriétés mécaniques élémentaires de l'atmosphère a permis de concevoir nettement, vers le milieu de l'avant-dernier siècle, la pro-

38..

duction et la transmission des vibrations sonores. Aujourd'hui, en effet, l'acoustique n'est pas moins radicalement affranchie que la barologie de ces hypothèses anti-scientifiques, derniers vestiges de l'esprit métaphysique, qui vicient encore, plus ou moins profondément, tout le reste de la physique. On a tenté, il est vrai, au commencement de notre siècle, ainsi que je l'ai indiqué dans la vingt-huitième leçon, de personnifier le son comme la chaleur, la lumière, et l'électricité. Mais cette aberration isolée et intempestive ne pouvait acquérir aucune consistance, et n'a pas, en effet, exercé la moindre influence sur la marche des physiciens, pour la plupart desquels elle a passé inaperçue, malgré l'incontestable supériorité de l'illustre naturaliste qui s'y était laissé entraîner. La même doctrine générale des vibrations qui, abusivement transportée à l'étude des phénomènes lumineux, par exemple, ne peut y conduire qu'à des conceptions chimériques, convient parfaitement, au contraire, à l'analyse des phénomènes sonores, où elle nous offre l'expression exacte d'une évidente réalité.

Indépendamment du haut intérêt philosophique que doit naturellement inspirer aujourd'hui une telle étude par cette entière pureté de son caractère scientifique, et abstraction faite de l'extrême

importance directe évidemment propre aux phénomènes qu'elle considère, cette belle partie de la physique mérite, sous deux rapports principaux, l'attention spéciale des esprits qui envisagent l'ensemble des connaissances positives, vu l'application générale très précieuse dont l'acoustique est susceptible pour perfectionner les notions fondamentales relatives, soit aux corps inorganiques, soit à l'homme lui-même.

D'une part, en effet, l'examen des vibrations sonores constitue notre moyen le plus rationnel et le plus efficace, si ce n'est le seul, d'explorer, jusqu'à un certain point, la constitution mécanique intérieure des corps naturels, dont l'influence doit surtout se manifester dans les modifications qu'éprouvent les mouvemens vibratoires de leurs molécules. Les faibles renseignemens obtenus jusqu'ici à cet égard par une telle voie, à cause de l'imperfection actuelle de l'acoustique, ne sauraient indiquer, ce me semble, l'impossibilité d'employer ultérieurement, avec un vrai succès, ce mode général d'exploration, quand l'étude du son sera plus avancée. Les belles suites d'observations de M. Chladni et de M. Savart, quoique trop peu variées, n'ont-elles pas déjà fourni à ce sujet quelques indications précieuses sur les propriétés essentielles d'un tel système d'expérimen-

tation. L'étude approfondie des phénomènes sonores ne nous révèle-t-elle pas certaines propriétés délicates des corps naturels, qui ne pourraient s'y apercevoir d'aucune autre manière? Par exemple, la faculté de contracter de véritables *habitudes*, c'est-à-dire des dispositions fixes, d'après une suite suffisamment prolongée d'impressions uniformes, faculté qui semblait exclusivement appartenir aux êtres animés, n'est-elle pas ainsi clairement indiquée, à un degré plus ou moins grand, pour les appareils inorganiques eux-mêmes? N'est-ce point aussi aux mouvemens vibratoires qu'il faut attribuer l'influence remarquable que peuvent exercer l'un sur l'autre, en certains cas, deux appareils mécaniques entièrement séparés, comme, entre autres, dans la singulière action mutuelle de deux horloges placées sur un support commun?

D'une autre part, l'acoustique présente évidemment à la physiologie un point d'appui indispensable pour l'analyse exacte des deux fonctions élémentaires les plus importantes à l'établissement des relations sociales, l'audition et la phonation. En séparant avec soin tout ce qui concerne la perception des sons, et même leur simple transmission au cerveau, phénomènes essentiellement nerveux, de ce qui est purement relatif à leur impression

sur l'organe de l'ouïe, on voit clairement que l'étude de ces derniers phénomènes, sans lesquels les autres resteraient nécessairement inexplicables, doit avoir pour base rationnelle une connaissance approfondie des lois générales de l'acoustique, qui règlent inévitablement le mode de vibration de tout appareil auditif. Il en est ainsi, à plus forte raison, quant à la production de la voix, phénomène essentiellement assimilable, par sa nature, à l'action de tout autre instrument sonore, sauf la complication supérieure due aux modifications presque continuelles de l'appareil vocal, en vertu des innombrables variations organiques, et dont les plus délicates seront toujours, sans doute, à peu près inappréciables.

Mais, malgré cette incontestable relation, ou, plutôt, en y ayant convenablement égard, ce n'est pas aux physiciens proprement dits qu'appartient rationnellement l'étude de ces deux grands phénomènes, dont les anatomistes et les physiologistes ne doivent pas se dessaisir, pourvu qu'ils empruntent désormais à la physique toutes les notions nécessaires. Car, les physiciens sont, en eux-mêmes, essentiellement impropres, soit à l'usage judicieux des données anatomiques du problème, soit surtout à la saine interprétation physiologique des résultats obtenus. On aperçoit

ainsi combien sont déplacées, dans nos systèmes actuels de physique, les théories, d'ailleurs si superficielles, de l'audition et de la phonation : on en peut dire autant, par les mêmes motifs fondamentaux, quant à la théorie si imparfaite de la vision. Il semble que les physiciens aient voulu tenter, à ces divers égards, la combinaison inverse de celle qui devrait être réellement entreprise par les physiologistes, seuls compétens pour l'établir : aussi aurons-nous lieu de constater, dans le volume suivant, les graves préjudices qu'a nécessairement produits cette marche irrationnelle, relativement à nos vraies connaissances sur ces sujets difficiles.

Parmi toutes les branches principales de la physique, l'acoustique est, sans doute, après la barologie, celle qui, par sa nature, comporte le plus directement, et de la manière la plus satisfaisante, une large application des doctrines et des méthodes mathématiques. Considérés, en effet, sous le point de vue le plus général, les phénomènes sonores se rattachent évidemment à la théorie fondamentale des oscillations très petites d'un système quelconque de molécules autour d'une situation d'équilibre stable. Car, pour que le son se produise, il faut d'abord qu'il y ait

perturbation brusque dans l'équilibre moléculaire, en vertu d'un ébranlement instantané; et il est tout aussi indispensable que ce dérangement passager soit suivi d'un retour suffisamment prompt à l'état primitif. Les oscillations plus ou moins perceptibles et continuellement décroissantes qu'effectue ainsi le système en-deçà et au-delà de sa figure de repos, sont, par leur nature, sensiblement isochrones, puisque la réaction élastique en vertu de laquelle chaque molécule tend à reprendre sa position initiale est d'autant plus énergique que l'écartement a été plus grand, comme dans le cas du pendule. Pourvu que ces vibrations ne soient pas trop lentes, il en résulte toujours un son appréciable. Une fois produites dans le corps directement ébranlé, elles peuvent être transmises à de grands intervalles, à l'aide d'un milieu quelconque suffisamment élastique, et principalement de l'atmosphère, en y excitant une succession graduelle de dilatations et contractions alternatives, que leur analogie évidente avec les ondes formées à la surface d'un liquide a fait justement qualifier d'*ondulations* sonores. Dans l'air, en particulier, vu sa parfaite élasticité, l'agitation doit se propager, non-seulement suivant la direction de l'ébranlement primitif, mais encore en tous sens au même degré. Enfin, les vibrations trans-

mises sont toujours nécessairement isochrones aux vibrations primitives, quoique leur amplitude puisse être d'ailleurs fort différente.

L'analyse la plus élémentaire du phénomène général des vibrations sonores, a donc suffi pour faire concevoir cette étude, presque dès son origine, comme immédiatement subordonnée aux lois fondamentales de la mécanique rationnelle. Aussi, d'après Newton, auquel est due la première tentative pour déterminer rationnellement la vitesse de propagation du son dans l'air, l'acoustique a-t-elle toujours été plus ou moins mêlée à tous les travaux des géomètres sur le développement de la mécanique abstraite. Ce sont même de simples considérations d'acoustique qui ont primitivement suggéré le beau principe général découvert par Daniel Bernouilli, relativement à la coexistence nécessaire et sans confusion des petites oscillations de diverses sortes que produisent à la fois, dans un système quelconque, plusieurs ébranlemens distincts. Un tel théorème n'est plus maintenant, sans doute, aux yeux des géomètres, comme je l'ai indiqué dans la dix-huitième leçon, que l'interprétation naturelle et générale du caractère analytique propre aux équations différentielles qui expriment les perturbations quelconques de tout l'équilibre stable. Mais, c'est dans

les phénomènes sonores que se trouve directement sa réalisation la plus évidente et la plus étendue; puisque, sans cette loi, il serait impossible d'expliquer le phénomène le plus vulgaire de l'acoustique, la simultanéité des sons nombreux et néanmoins parfaitement distincts que nous entendons à chaque instant.

Quoique la relation de l'acoustique avec la mécanique rationnelle soit ainsi presque aussi directe et aussi complète que celle de la barologie elle-même, les moyens de perfectionnement qui doivent naturellement résulter de ce caractère mathématique n'ont point, à beaucoup près, autant d'efficacité réelle dans la théorie du son que dans l'étude de la pesanteur. Les recherches barologiques, du moins quand on s'y borne aux questions les plus simples, qui sont aussi les plus importantes, se rattachent directement aux théories mécaniques les plus fondamentales et les plus nettes: leurs équations ne présentent point ordinairement de grandes difficultés analytiques. Au contraire, l'étude mathématique des vibrations sonores dépend uniquement d'une théorie dynamique très difficile et fort délicate, celle des perturbations d'équilibre: les équations différentielles qu'elle fournit se rapportent toujours nécessairement à la partie la plus élevée et la plus imparfaite du

calcul intégral. La nature de cet ouvrage ne saurait permettre de considérer ici, même sommairement, le mode de formation de ces équations : mais il est évident qu'elles doivent être aux différences partielles, et au moins du second ordre ; leur composition, nécessairement *linéaire*, est la seule circonstance favorable qui ait pu fournir un point d'appui aux efforts des géomètres pour parvenir, dans les cas les plus simples, à leur intégration. Le mouvement vibratoire suivant une seule dimension, est encore, même à l'égard des solides, le seul dont la théorie mathématique soit jusqu'ici vraiment complète par les travaux successifs de D'Alembert, de Daniel Bernouilli, et de Lagrange. La mémorable impulsion donnée à la science, sous ce rapport, par le génie d'une illustre contemporaine, dont la perte récente est si regrettable (1), a conduit, il est vrai, les géomètres à considérer, dans ces derniers temps, un cas plus

(1) On apprécierait imparfaitement la haute portée de mademoiselle Sophie Germain, si l'on se bornait à l'envisager comme géomètre, quel que soit l'éminent mérite mathématique dont elle a fait preuve. Son excellent discours posthume, publié en 1833, sur *l'état des sciences et des lettres aux différentes époques de leur culture*, indique en elle une philosophie très élevée, à la fois sage et énergique, dont bien peu d'esprits supérieurs ont aujourd'hui un sentiment aussi net et aussi profond. J'attacherai toujours le plus grand prix à la conformité générale que j'ai aperçue dans cet écrit avec ma propre manière de concevoir l'ensemble du développement intellectuel de l'humanité.

difficile et plus rapproché de la réalité, les vibrations des surfaces. Mais jusqu'à présent cette nouvelle étude mathématique n'est point assez avancée pour concourir utilement au perfectionnement effectif de l'acoustique, encore essentiellement réduite à cet égard aux seules ressources de la pure expérimentation, comme à l'époque des premières observations de M. Chladni. Quant au mouvement vibratoire, envisagé suivant les trois dimensions, sa théorie analytique est aujourd'hui entièrement ignorée, même en ce qui concerne le simple établissement de l'équation : et, cependant, c'est peut-être le cas dont l'examen mathématique aurait le plus d'importance, soit comme étant, au fond, le seul pleinement réel, soit à cause des obstacles presque insurmontables qu'il oppose, par sa nature, à l'exploration directe.

Afin de se former une juste idée générale des hautes difficultés que présente nécessairement l'étude mathématique des mouvemens vibratoires, il faut considérer, en outre, que ces vibrations doivent déterminer habituellement, dans la constitution moléculaire des corps, certaines modifications physiques d'une autre nature, dont la réaction peut affecter ensuite le phénomène sonore primitif. Quoique ces modifications soient trop faibles, et surtout trop passagères, pour être

jusqu'ici, et peut-être jamais, directement appréciables, on conçoit que leur influence sur un phénomène aussi délicat que celui des vibrations sonores puisse n'être pas réellement insensible: seulement, la difficulté fondamentale du problème en sera beaucoup augmentée, par la nécessité de le compliquer d'éléments essentiellement inconnus. La seule action de ce genre qu'on ait encore tenté de prendre en considération, consiste dans les effets thermologiques qui résultent nécessairement du mouvement vibratoire. Laplace en a très heureusement profité pour expliquer, d'une manière satisfaisante, la notable différence entre la vitesse du son dans l'air, déterminée expérimentalement, et celle qu'indiquait la formule dynamique, dont le résultat était en défaut d'environ un sixième, ce qui ne pouvait évidemment être attribué aux erreurs d'observation. Cette différence a été comblée en ayant convenablement égard à la chaleur dégagée par la compression des couches atmosphériques, qui doit faire varier leur élasticité dans un plus grand rapport que leur densité, et, par conséquent, accélérer la propagation du mouvement vibratoire. A la vérité, une telle explication présente encore une lacune essentielle; puisque, dans l'impossibilité de mesurer directement ce dégagement de chaleur, il a fallu lui supposer expressé-

ment la valeur propre à faire cesser la discordance des deux vitesses. Quoique cette valeur n'offre aucune invraisemblance, il reste à désirer qu'une estimation réelle de cet effet thermologique vienne confirmer définitivement cette ingénieuse conjecture, comme une expérience intéressante de M. Clément permet de l'espérer. Mais, quelle que puisse être l'issue d'une telle comparaison, cette idée de Laplace aura toujours mis en évidence désormais la nécessité permanente de combiner les considérations thermologiques avec la théorie purement dynamique des mouvemens vibratoires, malgré la nouvelle complication que le problème doit ainsi inévitablement éprouver. La modification qui en résulte est, sans doute, par sa nature, beaucoup moins prononcée, quant à la propagation du son dans les liquides, et surtout dans les solides: toutefois, le défaut d'expériences comparatives suffisamment exactes ne permet point encore de juger si elle est alors tout-à-fait négligeable.

Nonobstant les difficultés capitales qui caractérisent nécessairement la théorie mathématique des vibrations sonores, elle n'en a pas moins exercé jusqu'ici, quelque imparfaite qu'elle soit encore, l'influence la plus heureuse sur les progrès effectifs de l'acoustique, qui lui sont, en réalité,