

essentiellement dus. Sous le point de vue le plus philosophique, la simple formation des équations différentielles propres aux phénomènes sonores constitue déjà, par elle-même, et indépendamment de leur intégration, une connaissance fort importante, à cause des lumineux rapprochemens que comporte si naturellement l'emploi judicieux de l'analyse mathématique entre les questions, d'ailleurs hétérogènes à tous autres égards, qui peuvent conduire à des équations semblables. Cette admirable propriété fondamentale, si fréquemment signalée jusqu'ici dans cet ouvrage, s'applique d'une manière très remarquable à la théorie du son, surtout depuis la création de la thermologie mathématique, dont les principales équations offrent tant d'analogie avec celles des mouvemens vibratoires, qui n'en diffèrent quelquefois que par le signe d'un coefficient.

Outre la haute importance directe évidemment propre aux lois précises des vibrations sonores, dans les cas, malheureusement trop rares, où l'analyse mathématique a pu jusqu'ici nous les dévoiler complètement, ce précieux moyen d'investigation acquiert un surcroît spécial de valeur, vu les difficultés particulières que présente, par sa nature, l'exploration directe des phénomènes du son, considérés d'une manière un peu approfondie. Il

est aisé, sans doute, de rendre sensible, par une expérience décisive, la nécessité du milieu atmosphérique pour la transmission habituelle des vibrations sonores, comme on l'a fait dès l'origine de l'acoustique. On conçoit de même que, par des expériences convenablement instituées, il nous soit possible de déterminer avec exactitude la durée effective de cette propagation, d'abord dans l'air, et ensuite dans tout autre milieu. Mais les lois générales des vibrations des corps sonores échappent presque toujours à l'observation immédiate. Quoique l'existence de ces vibrations soit constamment évidente, leur faible intensité habituelle, et leur durée trop fugitive sans aucun vestige appréciable, ne permettent guère à nos sens de les explorer d'une manière suffisamment précise. Le degré de rapidité qu'elles doivent avoir pour qu'il en résulte un son perceptible, doit même s'opposer le plus souvent à leur simple énumération directe. Ainsi, nos connaissances réelles à cet égard étant encore bien peu étendues, elles seraient, évidemment, presque nulles si la théorie mathématique, liant entre eux les divers phénomènes sonores, ne nous donnait point la faculté de remplacer les observations immédiates, ordinairement impossibles ou trop imparfaites, par l'examen équivalent des cas plus favorables assu-

jettis à la même loi. On conçoit, par exemple, que les plus rapides vibrations d'une corde très courte aient pu néanmoins être exactement comptées, quand l'analyse du problème des cordes vibrantes a fait connaître que, tout étant d'ailleurs rigoureusement égal, le nombre des oscillations est inversement proportionnel à la longueur de la corde, puisque cette loi permet dès lors de se borner à l'observation effective de vibrations très lentes. Il en est de même en beaucoup d'autres occasions où la substitution est plus indirecte.

Toutefois, les physiciens ont, ce me semble, trop compté jusqu'ici sur le secours de l'analyse mathématique, si fréquemment inefficace; et l'on doit regretter, pour les progrès réels de l'acoustique, qu'ils ne se soient pas occupés davantage de perfectionner directement leur système général d'expérimentation, encore essentiellement dans l'enfance. Quelles que soient les difficultés caractéristiques d'un tel ordre d'observations, tout esprit impartial reconnaîtra, sans doute, aujourd'hui que les modes actuels d'exploration sont presque toujours fort inférieurs à ce que permettrait effectivement la nature des phénomènes. L'acoustique ne paraît point au niveau des autres parties de la physique, quand on l'envisage relativement à l'invention et à l'emploi des moyens

artificiels d'observation : on y remarque peu de ces ingénieuses créations de l'esprit expérimental, si multipliées et si importantes en thermologie, en optique, et en électrologie : les légers chevalets de Sauveur, et le sable fin de M. Chladni, soutiendraient mal une telle concurrence, quelque précieux que soit d'ailleurs leur emploi pour distinguer commodément les points qui participent le moins au mouvement vibratoire. Je ne doute pas que cette stérilité relative de l'art des expériences ne doive être attribuée, en partie, à l'opinion exagérée que se sont formée les physiciens du rôle de l'analyse mathématique dans le développement de l'acoustique, et qui leur a fait négliger à cet égard les ressources de l'expérimentation directe. Depuis les expériences vraiment fondamentales de Sauveur, on ne retrouve, en acoustique, après plus d'un siècle, d'autre suite importante d'observations que celles de notre illustre contemporain M. Chladni, complétées et perfectionnées par les judicieux travaux de M. Savart : tout l'intervalle est rempli par des recherches essentiellement mathématiques. Et, néanmoins, quelle que soit ici l'indispensable nécessité de ce puissant auxiliaire, comme j'ai essayé de le faire sentir ci-dessus, nous avons reconnu combien il serait, par lui-même, radicalement insuffisant, à

cause des difficultés capitales inséparables d'une telle analyse, d'après laquelle on n'a pas même pu jusqu'à présent expliquer, d'une manière pleinement satisfaisante, les expériences de Sauveur, et, à plus forte raison, celles de M. Chladni. Sans renoncer au perfectionnement si désirable de la théorie mathématique des mouvemens vibratoires, il importe donc extrêmement que les physiciens proprement dits suivent désormais, en acoustique, une marche moins passive, en s'attachant avec plus de force et de persévérance à y développer convenablement le génie expérimental. L'indifférence qui pourrait en résulter quant à ces brillans exercices analytiques, où l'on ne trouve, sous le point de vue physique, que d'insignifiantes modifications des recherches antérieures, serait loin, sans doute, d'être aujourd'hui un inconvénient pour la science réelle. J'ai déjà indiqué, dans la vingt-neuvième leçon, des remarques analogues au sujet des parties les plus difficiles de la barologie : mais elles ont ici une importance très supérieure.

Après cet examen sommaire de la nature générale des études acoustiques et des principaux moyens d'investigation qui leur sont propres, il nous reste à considérer directement, par un aperçu non moins rapide, l'ensemble des parties

dont se compose aujourd'hui cette branche fondamentale de la physique.

Nos connaissances à l'égard des lois des vibrations sonores se rapportent à ces trois points de vue élémentaires : le mode de propagation des sons ; leur intensité plus ou moins grande, et, enfin, leur ton musical. L'acoustique actuelle, peu avancée sous le second rapport, présente sous les deux autres un aspect beaucoup plus satisfaisant. Il existe naturellement, à la vérité, une quatrième considération fondamentale, dont l'analyse scientifique serait d'un haut intérêt, celle du *timbre*, c'est-à-dire, du mode particulier de vibration propre à chaque corps et à chaque appareil sonore. Sans que nous sachions encore en quoi consiste réellement cette propriété, nous lui reconnaissons évidemment une telle fixité et une si grande importance que nous l'employons habituellement, soit dans la vie commune, soit même en histoire naturelle, comme tout-à-fait caractéristique. Toutefois, la physique générale n'a point à s'enquérir de ce qui peut constituer le timbre particulier à chacune des diverses substances, comme les pierres, les bois, les métaux, les tissus organisés, etc. ; ces distinctions appartiennent proprement à la physique concrète, en traitant de l'histoire des différens corps : il est même évident que, sous ce

rapport, comme en tout ce qui concerne les qualités primordiales des êtres naturels, certains phénomènes ne peuvent qu'être observés, et ne comportent aucune explication. Mais la manière dont le timbre propre à chaque substance peut être modifié, soit par la disposition de l'appareil sonore, soit par les pressions qu'il éprouve, ou par plusieurs autres circonstances générales, rentre pleinement dans le domaine rationnel de l'acoustique, qui doit donc être regardée aujourd'hui comme présentant, sous ce rapport essentiel, une véritable et grave lacune.

Dans l'étude de la propagation du son, la question la plus intéressante, et aussi la plus simple et la mieux explorée, consiste à mesurer la durée de cette propagation uniforme, surtout à travers l'atmosphère. En négligeant d'abord les variations de température qui résultent de la compression des couches atmosphériques, la théorie mathématique, quand on se borne au mouvement linéaire, conduit aisément à une telle détermination, énoncée par Newton sous cette forme très simple : la vitesse du son est celle qu'acquiert un corps pesant tombant d'une hauteur égale à la moitié de la hauteur totale de l'atmosphère supposée homogène. On a pu calculer d'une manière analogue la vitesse du son dans les différens gaz, d'après leur

densité et leur élasticité plus ou moins grandes. Suivant cette loi, la vitesse du son dans l'air doit être regardée comme essentiellement indépendante des vicissitudes atmosphériques, puisque, d'après la règle de Mariotte, la densité et l'élasticité de l'air varient toujours proportionnellement, et que leur rapport seul influe ainsi sur cette vitesse. J'ai déjà eu ci-dessus l'occasion d'indiquer comment Laplace avait heureusement rectifié la formule de Newton d'une manière conforme aux prescriptions expérimentales, en ayant égard aux effets thermologiques : la correction consiste à multiplier la quantité primitive par la racine carrée du rapport des deux chaleurs spécifiques de l'air, à pression constante et à volume égal.

Une importante notion générale, qui résulte immédiatement de cette loi mathématique, et que l'observation confirme entièrement avec une pleine évidence, c'est l'identité nécessaire de la vitesse des différens sons, malgré leurs degrés si divers, soit d'intensité, soit d'acuité. On sent que s'il existait, à cet égard, une inégalité réelle, nous la constaterions sans peine, d'après l'altération qui en résulterait inévitablement, à une certaine distance, dans la régularité des intervalles musicaux.

L'évaluation mathématique de la vitesse du son dans l'air ne pouvant se rapporter, par la nature

même de cette théorie, qu'à une masse atmosphérique essentiellement immobile, animée seulement du mouvement vibratoire, il était intéressant d'observer jusqu'à quel point l'agitation effective de l'air modifiait réellement cette valeur moyenne. Les expériences fondamentales d'après lesquelles la durée de la propagation avait été primitivement mesurée, pouvaient indiquer déjà que cette cause perturbatrice n'exerçait point, à cet égard, une influence bien sensible, puisque l'observation étant toujours faite comparative-ment dans les deux sens opposés, ne présente, sous ce rapport, aucune différence notable. Une telle comparaison n'est point à la vérité décisive, vu l'état de calme atmosphérique qu'on avait toujours dû choisir pour exécuter convenablement une semblable opération ; mais les expériences directes tentées à ce sujet par divers physiciens contemporains ont conduit à un résultat presque exactement identique. On a reconnu, du moins entre les limites des vents ordinaires, que l'agitation de l'air n'exerce aucune influence appréciable sur la vitesse du son quand la direction du courant atmosphérique est perpendiculaire à celle suivant laquelle le son se propage, et qu'elle l'altère faiblement, soit en plus, soit en moins, lorsque ces deux directions coïncident, selon que leurs sens

sont conformes ou contraires : la valeur exacte, et, à plus forte raison, la loi précise de cette légère perturbation sont d'ailleurs encore essentiellement inconnues.

C'est seulement dans l'air que la durée de la propagation du son a été jusqu'ici convenablement étudiée, soit par l'observation, soit d'après la théorie mathématique. A l'égard des milieux liquides ou solides, nous ne possédons aujourd'hui que certaines indications mathématiques affectées d'hypothèses précaires, et quelques expériences directes très imparfaites. On a simplement constaté que le son se propage beaucoup plus rapidement dans presque toutes les substances soumises à cette comparaison, et surtout dans les métaux très sonores, que dans l'atmosphère, sans que cette supériorité de vitesse ait été exactement mesurée, du moins pour la plupart des cas, vu les difficultés qu'on doit éprouver à réunir les conditions nécessaires au succès de ce genre d'évaluations immédiates.

Lorsque, dans la propagation ordinaire du son, les ondulations aériennes viennent à rencontrer un obstacle immobile, de manière à produire un écho, elles éprouvent des modifications dont l'analyse exacte et complète présente de grandes difficultés mathématiques, et sur lesquelles aussi les

expériences des physiciens ont peu ajouté encore aux notions vulgaires. Il ne s'opère point alors évidemment, comme le terme habituel tendrait à l'indiquer, une véritable réflexion mécanique analogue à celle des corps élastiques par les corps durs : le phénomène consiste en une simple répercussion en sens contraire qu'éprouvent les vibrations du milieu, d'ailleurs immobile. La loi de cette répercussion n'a été découverte, d'une manière entièrement satisfaisante, que dans le cas où l'obstacle est terminé par une surface plane. Il est clair d'abord que, si ce plan est perpendiculaire à la direction de la série linéaire d'ondulations, la dilatation des particules aériennes adjacentes ne pouvant plus avoir lieu dans le sens de l'obstacle, leur réaction nécessaire fera naître en sens contraire, et suivant la même droite, un ébranlement secondaire, sans que la vitesse des vibrations ni la durée de leur propagation doivent être d'ailleurs aucunement altérées. On démontre ensuite que, pour une inclinaison arbitraire du plan sur la direction du son, la modification s'opère toujours comme si le centre d'ébranlement primitif avait été transporté symétriquement, de l'autre côté de l'obstacle, à la même distance, ce qui reproduit alors la loi commune de toutes les réflexions. Quand la forme de l'obstacle est quelconque, on

ignore si, en général, le phénomène serait encore exactement représenté d'après la même loi, en substituant à la surface courbe le plan tangent correspondant. Cette extension n'a été jusqu'ici bien constatée que dans le cas d'un ellipsoïde de révolution, et en supposant même que l'ébranlement sonore primitif soit produit à l'un des foyers; on reconnaît alors que l'ébranlement secondaire émane en effet de l'autre foyer, ce que l'expérience a pleinement confirmé. Quant à l'influence évidente que peut exercer sur la répercussion du son la constitution physique de l'obstacle, elle n'a été le sujet d'aucune étude scientifique, et nous n'avons à cet égard d'autres notions réelles que celles qui résultent des observations communes.

Il en est essentiellement de même pour toute la partie de l'acoustique qui concerne l'intensité des sons. Non-seulement les notables variétés spécifiques que présentent sous ce rapport les sons transmis par différens corps solides, et quelquefois par le même corps, suivant les diverses directions, n'ont jamais été ni analysées, ni mesurées : mais les travaux des physiciens n'ont encore ajouté rien de vraiment essentiel à ce qu'enseigne spontanément l'expérience vulgaire relativement aux influences générales qui règlent l'intensité du son, comme l'étendue des surfaces

vibrantes, l'amplitude des excursions, l'éloignement du corps sonore, etc. A ces divers égards, les physiiciens ne pourraient avoir d'autre mérite propre que de préciser des notions naturellement vagues, en les assujettissant à d'exactes lois numériques, ce que, jusqu'à présent, on n'a pas même entrepris.

C'est donc improprement que ces différens sujets figurent dans nos systèmes actuels de physique : l'application d'une telle remarque est malheureusement trop fréquente dans l'ensemble de nos études. Ne semblerait-il pas aujourd'hui, d'après nos habitudes scolastiques, que, avant de se livrer régulièrement à la culture méthodique et spéciale de la philosophie naturelle, les auditeurs ou les lecteurs n'avaient jamais exercé ni leurs sens, ni leur intelligence, puisqu'on se croit obligé de leur enseigner, d'un ton doctoral, même les choses que souvent ils savent déjà tout aussi bien que leurs maîtres? Ce dogmatisme puéril tient sans doute à ce qu'on méconnaît le vrai caractère de la science réelle, qui, en tout genre, ne peut jamais être qu'un simple prolongement spécial de la raison et de l'expérience universelles; et dont, par conséquent, le vrai point de départ est toujours dans l'ensemble des notions acquises spontanément par la généralité des hommes re-

lativement aux sujets considérés. L'observance scrupuleuse de ce précepte évident tendrait à simplifier beaucoup nos expositions scientifiques actuelles, en les dégageant d'une foule de détails superflus, susceptibles seulement d'obscurcir le plus souvent la manifestation directe de ce que la science proprement dite ajoute réellement à la masse fondamentale des connaissances communes.

Quant aux lois relatives à l'intensité des sons, le seul point qui ait été jusqu'ici le sujet d'un véritable éclaircissement scientifique, et dont l'examen était à la vérité extrêmement facile, consiste dans l'influence qu'exerce la densité plus ou moins grande du milieu atmosphérique sur l'énergie des sons transmis. A cet égard, l'acoustique confirme et surtout explique immédiatement, d'une manière très satisfaisante, l'observation vulgaire sur la dégradation nécessaire qu'éprouve l'intensité du son à mesure que l'air devient plus rare, sans qu'on sache toutefois si cette diminution est exactement proportionnelle, comme il est naturel de le penser, au décroissement de la densité, de quelque source qu'il provienne.

Dans la manière habituelle de concevoir l'acoustique, on présente, comme effectivement résolue, une question intéressante, qui me semble au con-