

d'ailleurs n'appartiennent pas proprement à la physique et se rapportent à l'histoire naturelle du globe, sont même extrêmement imparfaites : car, jusqu'ici, par exemple, nous ne savons véritablement à quoi attribuer les simples différences de niveau si bien constatées entre les diverses parties de l'Océan général, qui semblent contradictoires avec les notions fondamentales de l'hydrostatique ; celle, entre autres, mesurée à l'isthme de Suez, entre la mer Méditerranée et la mer Rouge, ou celle, plus remarquable, quoique moins prononcée, qui a été reconnue sur l'isthme de Panama, entre le grand Océan et l'Océan atlantique.

La théorie des marées, considérée dans la vingt-cinquième leçon, pourrait évidemment être classée ici comme un appendice naturel de cette partie de la barologie, dont l'analyse des perturbations périodiques de l'équilibre océanique forme, sans doute, le complément nécessaire. Quand les études physiques seront habituellement devenues aussi fortes et aussi bien coordonnées qu'elles devraient l'être, et que, par conséquent, elles auront été toujours précédées d'études astronomiques convenables, il est, en effet, très probable que cette doctrine rentrera d'elle-même dans la barologie, à laquelle, sans doute, elle appartient rationnellement : qu'importe, au fond, puisqu'il

s'agit d'un phénomène terrestre, que la vraie cause en soit céleste ?

Il faut maintenant envisager la dernière section de la barologie statique, relative à l'équilibre des gaz, et spécialement de l'atmosphère, en vertu de leur poids.

A cet égard, la physique a dû d'abord surmonter une grande difficulté préliminaire, qui ne pouvait exister envers les solides et les liquides, celle de découvrir la pesanteur du milieu général dans lequel nous vivons. L'air n'était point, en effet, directement susceptible d'être pesé, comme un liquide, par le simple excès de poids d'un vase plein, sur le même vase vide ; car, le vase ne peut être vidé d'air qu'à l'aide d'ingénieux artifices, fondés sur la connaissance même de la pesanteur atmosphérique, exactement analysée dans ses principaux effets statiques. Cette pesanteur ne pouvait donc être constatée que d'une manière indirecte, par l'examen des pressions que l'atmosphère devait ainsi nécessairement produire sur les corps placés à sa base, en vertu des lois générales de l'équilibre des fluides. Une telle découverte était donc évidemment impossible avant la théorie mathématique de ces pressions, créée, comme nous venons de le voir, au commencement du dix-septième siècle, par les travaux de Stevin,

dont la haute importance n'a pas été suffisamment appréciée. Mais, d'un autre côté, cette théorie devait nécessairement conduire à dévoiler promptement ce grand fait ; car, quoique Stévin n'eût point pensé à l'atmosphère, son analyse des pressions convenait aussi bien à ce cas, puisqu'elle n'était point arrêtée par l'hétérogénéité de la masse fluide. L'époque de cette vérité capitale était donc, pour ainsi dire, fixée; elle n'a été retardée que par l'influence des habitudes métaphysiques : les moyens rationnels d'exploration étant convenablement préparés, il suffisait, en effet, désormais d'oser envisager, sous un point de vue positif, l'équilibre général de l'atmosphère. Tel fut le projet de Galilée, dans ses dernières années, si bien exécuté ensuite par son illustre disciple Torricelli. L'existence et la mesure de la pression atmosphérique devinrent irrécusables quand Torricelli eut découvert que cette force soutenait les différens liquides à des hauteurs inversement proportionnelles à leurs densités. L'ingénieuse expérience de Pascal compléta bientôt la conviction générale, en constatant, avec une pleine évidence, la diminution nécessaire de cette pression à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Enfin, la belle invention du célèbre bourguemestre de Magdebourg, déduction plus éloignée,

tance à mesure que la vitesse diminue indéfiniment; et, cependant, disposer la loi de telle manière que la vitesse initiale du mobile puisse être enfin complètement détruite, par la seule action graduelle de la résistance. La dernière de ces deux indications générales exige évidemment la présence d'un terme constant dans l'expression algébrique de la loi, tandis que la première semble devoir l'en exclure formellement. Quelle que soit l'utilité des études expérimentales directes dont cette question difficile a été jusqu'ici le sujet, elles n'ont pas eu encore de résultats pleinement satisfaisans. Enfin, quelques observations récentes viennent même d'augmenter à cet égard l'incertitude fondamentale, quoique propres peut-être à présenter ensuite sous un nouveau jour l'ensemble du sujet, en montrant que, lorsque les vitesses deviennent très grandes, elles peuvent augmenter sans faire croître les résistances ; cette importante remarque ne saurait cependant être admise, sans un nouvel et scrupuleux examen. Ainsi, en résumé, l'étude exacte du mouvement réel des projectiles est encore extrêmement imparfaite.

Quant aux mouvemens que produit la pesanteur dans un corps retenu, le cas où ce corps est assujetti sur une courbe donnée est le seul impor-

tant à analyser ; il constitue le problème général du pendule, dont la théorie, entièrement due à Huyghens, n'offre plus, comme application de la mécanique rationnelle, que de simples difficultés analytiques, en faisant abstraction de la résistance du milieu. Cette belle théorie a présenté, dès son origine, un puissant intérêt pratique, comme base de la plus parfaite chronométrie. J'ai déjà indiqué, sous ce rapport, dans la vingtième leçon, comment Huyghens, après avoir reconnu les oscillations cycloïdales pour les seules rigoureusement isochrones, était parvenu à les remplacer par les oscillations circulaires, seules réellement admissibles, en rendant leurs amplitudes très petites. Ainsi réglées, leurs durées ne dépendent que de la longueur du pendule simple et de l'énergie de la gravité, proportionnellement à la racine carrée du rapport numérique de ces deux grandeurs.

Indépendamment de sa haute importance chronométrique, cette loi capitale d'Huyghens a fourni deux conséquences générales, fort essentielles pour les progrès de la barologie. D'abord, le pendule a permis à Newton de vérifier la proportionnalité des poids aux masses avec beaucoup plus d'exactitude que n'en pouvait comporter la chute des corps dans le vide, ci-dessus mentionnée. Car,

si cette relation n'avait pas lieu, ou, ce qui revient au même, si la pesanteur agissait inégalement sur les différens corps, cette diversité devrait se manifester nécessairement, d'une manière très sensible, par la durée variable de leurs oscillations pour des pendules d'égale longueur, comparativement formés de substances distinctes. Or, l'expérience constate, au contraire, une frappante coïncidence à cet égard entre les cas les plus opposés, pouvu qu'on l'institue de manière à y rendre identique l'influence du milieu résistant, condition facile à remplir en prenant les précautions adoptées par Newton. Tous les corps ont donc la même gravité.

En second lieu, le pendule nous a mis en état de reconnaître les variations qu'éprouve, à diverses distances du centre de la terre, l'intensité de cette commune pesanteur, suivant l'indication fournie par la théorie fondamentale de la gravitation. Il a suffi, en effet, d'apercevoir une différence irrécusable entre les longueurs du pendule à secondes observées en des lieux distincts, pour avoir aussitôt le droit d'en conclure mathématiquement l'inégalité des pesanteurs correspondantes, en raison directe des longueurs respectives. Reste ensuite, ce qui est facile, à isoler dans cette indication expérimentale la part de la force centrifuge, d'après

la latitude du lieu, pour obtenir exactement la variation propre de la gravité. C'est d'après un tel principe que se multiplient chaque jour nos renseignements sur la mesure de la pesanteur en divers points du globe, et par une suite indirecte, comme je l'ai indiqué dans la vingt-cinquième leçon, sur la vraie figure de la terre.

Dans ces différentes sections de la barologie dynamique, les corps solides sont envisagés, abstraction faite de leurs dimensions, et comme de simples points. Mais, tous ces problèmes doivent maintenant être repris avec un nouvel ordre de difficultés, en ayant égard aux diverses particules dont le corps est réellement formé. Sous ce rapport, la question du mouvement libre nous entraînerait nécessairement dans cet ensemble de recherches délicates et compliquées qui caractérisent en dynamique abstraite, l'analyse des rotations, même en se bornant au cas du vide, et qui serait ici entièrement indépendant de l'action de la pesanteur : heureusement, cette face du problème est, en réalité, peu importante pour le mouvement de nos projectiles. A l'égard du pendule, cette difficulté se réduit à déterminer suivant quelles lois les divers points du corps modifient, en vertu de leur liaison, les durées inégales de leurs oscillations respectives, afin que leur

ensemble puisse osciller comme un point unique, idéal ou réel. Cette loi, découverte par Huyghens, et obtenue ensuite, d'une manière plus rationnelle, par Jacques Bernouilli, ramène aisément le pendule composé au pendule simple jusque alors étudié, quand on connaît le moment d'inertie du corps. Elle explique nettement un nouveau moyen de faire varier la durée des oscillations, en changeant seulement la répartition de la masse oscillante. C'est ainsi que l'étude du pendule se rattache à toutes les questions essentielles de la dynamique générale des solides. Quoique la résistance de l'air y exerce beaucoup moins d'influence que dans le mouvement des projectiles, il faut cependant l'y prendre aussi en considération, afin de donner à ce précieux instrument toute la précision dont il est susceptible. Ici, les tentatives ont pu être bien plus heureuses, surtout en établissant, comme l'a fait si judicieusement M. Bessel en dernier lieu, une exacte comparaison expérimentale entre les oscillations réelles, nécessairement affectées de la résistance du milieu, et les oscillations théoriques, relatives au cas du vide : aussi le passage de l'un à l'autre cas se fait-il maintenant avec beaucoup de sûreté et de facilité.

En considérant les immenses difficultés fonda-

mentales que présente l'hydrodynamique abstraite, comme nous l'avons reconnu en philosophie mathématique, on ne sera pas surpris que la partie de la barologie dynamique relative aux fluides soit encore si imparfaite, au moins sous le point de vue rationnel. Le cas des gaz, et surtout de l'air, est, d'abord, presque entièrement négligé, tant on a senti l'impossibilité d'y atteindre réellement. Quant aux liquides, il n'y a jusqu'ici d'analysé, d'une manière à quelques égards satisfaisante, que leur écoulement par de très petits orifices percés au fond ou sur les côtés des vases, c'est-à-dire le mouvement purement linéaire, dont l'étude mathématique a été faite par Daniel Bernoulli, d'après sa célèbre hypothèse du parallélisme des tranches. Son principal résultat a été de démontrer la règle, proposée empiriquement par Torricelli, sur l'évaluation de la vitesse du liquide à l'orifice, comme égale à celle d'un poids qui serait tombé de toute la hauteur du liquide dans le vase. Or, cette règle n'a été mise en harmonie avec l'observation, même lorsque le niveau est entretenu invariable, qu'à l'aide d'une sorte de fiction ingénieuse, suggérée par le singulier phénomène de la *contraction* de la veine fluide. Le cas du niveau variable est à peine ébauché, et à plus forte raison celui où l'on doit tenir compte

de la forme et de la grandeur de l'orifice. Quant au mouvement à deux dimensions, et surtout quant au mouvement général en tous sens, qui a toujours lieu plus ou moins, leur théorie est encore entièrement dans l'enfance, quoiqu'elle ait été le sujet de travaux mathématiques fort étendus, dont quelques-uns ont une éminente valeur abstraite. Corancez a fait, dans ces derniers temps, une tentative très estimable pour appliquer à cette recherche difficile les perfectionnemens généraux introduits par Fourier dans l'analyse mathématique, à l'occasion de sa théorie thermologique.

Les études expérimentales, d'ailleurs trop rares et surtout trop peu suivies, n'ont pas eu jusqu'ici, sous ces divers rapports, des résultats beaucoup plus satisfaisans, si ce n'est relativement à quelques données numériques. Elles ont été, en général, conçues dans un esprit trop subalterne envers les théories mathématiques, et entreprises ordinairement pour les vérifier. Or, les cas abstraits considérés par les géomètres diffèrent habituellement à tant de titres des cas réels, que cette confrontation est, en elle-même, fort délicate, et le plus souvent assez incertaine, vu l'embarras qu'on éprouve à démêler, parmi les

circonstances que la théorie néglige, celles qui produisent principalement les écarts observés. Faut-il les rapporter à l'imparfaite fluidité du liquide, ou à son frottement contre les parois du vase, ou aux mouvemens obliques qui s'établissent dans l'intérieur de la masse fluide, etc.? C'est ce qui demeure ordinairement indécis. Néanmoins, cette importante branche de la barologie peut tirer un grand parti d'un système rationnel d'expérimentation, entre les mains de physiciens sachant bien apprécier la valeur réelle des théories mathématiques, sans s'exagérer leur portée. Mais il faut que les expériences soient instituées avec plus de génie, et d'une manière plus indépendante, afin d'éclaircir les nombreuses questions laissées intactes par la théorie. L'imperfection de cette partie de la science est fort sensible, lorsqu'on cherche à la faire correspondre aux grands cas naturels, non pas même aux mouvemens généraux de l'Océan ou de l'atmosphère, dont l'étude rationnelle doit encore être jugée trop peu accessible, mais seulement aux mouvemens des fleuves et des canaux, dont la théorie n'a guère dépassé aujourd'hui le degré de précision et de profondeur où l'avait laissée le judicieux Guglielmini, au milieu de l'avant-dernier siècle.

Telles sont les considérations générales extrêmement sommaires auxquelles je dois me borner ici, sur les principales parties de la barologie, successivement examinées. Elles me paraissent suffire pour faire ressortir leur véritable esprit, ainsi que l'état présent de l'ensemble de chacune d'elles, et la nature des progrès qu'elles comportent. Quoique nous l'ayons reconnue très imparfaite à beaucoup d'égards, cette première branche de la physique n'en est pas moins, non-seulement la plus pure, mais aussi la plus riche : nous y avons fréquemment remarqué un caractère de rationalité et un degré de coordination que seront loin de nous offrir les autres parties de la science. Son imperfection est même essentiellement relative à ce que nous y cherchons naturellement une consistance et une précision presque astronomiques, bien plus difficiles ici qu'à l'égard des phénomènes célestes, et que nous n'oserions demander au reste de la physique. La barologie a depuis long-temps pleinement atteint son état de positivité définitive; il n'y a pas une seule de ses nombreuses subdivisions qui ne soit au moins ébauchée; tous les moyens généraux d'investigation y ont été successivement introduits et appliqués : ainsi, ses progrès futurs ne

dépendent désormais essentiellement que d'une harmonie plus complète entre ces divers moyens, et surtout d'une combinaison plus homogène et plus intime entre le génie mathématique et le génie physique.

TRENTIÈME LEÇON.

Considérations générales sur la thermologie physique.

Après les phénomènes de la gravité, ceux de la chaleur sont, incontestablement, les plus universels de tous les phénomènes physiques. Dans l'économie générale de la nature terrestre, morte ou vivante, leur fonction est aussi importante que celle des premiers, dont ils sont habituellement les principaux antagonistes. Si l'étude géométrique ou mécanique des corps réels est surtout dominée par la considération de la gravité, l'influence de la chaleur devient, à son tour, prépondérante, lorsqu'on envisage les modifications plus profondes, relatives ou à l'état d'agrégation, ou à l'intime composition des molécules; la vitalité, enfin, lui est essentiellement subordonnée. Quant à l'action de l'homme sur la nature, c'est une sage application de la chaleur qui la constitue principalement. Ainsi, après la barologie, aucune partie de la physique ne saurait mériter autant que la thermologie l'at-