

ment équivoques (1). La belle série d'expériences de MM. Dulong et Petit a pleinement démontré que, dans une étendue de plus de trois cents degrés centigrades, la dilatation du mercure suit une marche exactement uniforme, c'est-à-dire que des accroissemens égaux de volume sont toujours produits par des quantités de chaleur susceptibles de fondre des poids égaux de glace à zéro. On a tout lieu de penser qu'il en est ainsi d'un liquide quelconque, entre des limites sensiblement différentes de sa congélation et de son ébullition, quoique aucun autre cas n'ait été exploré jusqu'ici avec cette admirable circonspection et cette précision presque astronomique qui caractérisent si émi-

(1) Pour compléter une pensée que j'ai déjà eu l'occasion d'indiquer dans la leçon précédente, on doit remarquer, en général, que chaque branche principale de la physique peut être envisagée comme consistant essentiellement tout entière dans la théorie exacte et approfondie de quelque instrument capital. Cela est évident ici au sujet de la théorie du thermomètre, à laquelle aboutissent directement toutes les parties importantes de la thermologie physique, et qui comporte même, à plusieurs égards, une utile application de la thermologie mathématique. Pareillement, la théorie du pendule et celle du baromètre se rapportent naturellement à l'ensemble de la barologie. Il en est évidemment ainsi en optique, pour la théorie des divers télescopes ou microscopes; et, en électrologie, pour celles de la machine électrique, de la pile voltaïque et de la boussole. La naissance de chaque branche se manifeste toujours par la création de quelque instrument fondamental; et elle aurait atteint essentiellement son entière perfection, si elle était parvenue à en établir une théorie complète et précise.

nemment le mode général d'expérimentation de ces deux illustres physiciens.

C'est dans les gaz que la dilatation s'opère avec la plus parfaite régularité, en même temps qu'elle y est beaucoup plus prononcée. Non-seulement elle s'y fait toujours par degrés égaux, comme on le voit le plus souvent dans les liquides et les solides: mais en outre, tandis que, pour ceux-ci, son coefficient varie extrêmement d'un corps à un autre, sans relation fixe à aucun caractère, même thermologique, il a, au contraire, une valeur identique envers tous les gaz. Quoique ceux-ci diffèrent entre eux presque autant que les divers solides ou liquides, soit quant à la densité, ou à la chaleur spécifique, ou à la perméabilité, tous se dilatent néanmoins uniformément et également, leur volume augmentant toujours des trois huitièmes depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante. A cet égard, comme sous beaucoup d'autres points de vue physiques, les vapeurs se comportent exactement comme les gaz proprement dits. Telles sont les lois générales éminemment simples de la dilatation des fluides électriques, découvertes à la fois, au commencement de ce siècle, par M. Gay-Lussac à Paris, et par M. Dalton à Manchester.

Considérons enfin les changemens généraux produits par la chaleur dans l'état d'agrégation des corps.

La solidité et la fluidité, si long-temps envisagées comme des qualités absolues, sont, au contraire, reconnues désormais, depuis les premiers progrès de la philosophie naturelle, comme des états purement relatifs, qui dépendent nécessairement de plusieurs conditions variables, parmi lesquelles l'influence de la chaleur ou du froid constitue la plus générale et la plus puissante. Quoique plusieurs solides n'aient pu être encore liquéfiés, il n'est pas douteux maintenant que tous deviendraient fusibles si l'on pouvait produire en eux une température assez élevée, sans les exposer néanmoins à aucune altération chimique. De même, en sens inverse, on avait regardé, jusqu'à ces derniers temps, tous les gaz proprement dits comme devant conserver toujours leur élasticité, à quelque degré de refroidissement ou de pression qu'ils fussent soumis : on sait aujourd'hui que la plupart d'entre eux deviennent aisément liquides, quand on les saisit à l'état naissant, d'après les intéressantes expériences de M. Bussy et de M. Faraday ; il y a tout lieu de penser dès lors que, par une combinaison convenable de froid et de pression, on pourrait encore les liquéfier cons-

tamment, même quand ils sont pleinement développés. Les diverses substances ne se distinguent donc réellement à cet égard que par les différentes parties de l'échelle thermométrique indéfinie auxquelles correspondent leurs états successifs, solide, liquide et gazeux. Mais cette simple inégalité n'en constitue pas moins un caractère fort important, qui n'est encore exactement rattaché d'une manière fixe à aucune autre propriété fondamentale de chaque substance. La relation la plus évidente et la moins sujette à des anomalies, est avec la densité : tous les gaz sont, en général, moins denses que les liquides, et ceux-ci que les solides. Le second cas offre néanmoins plusieurs exceptions très notables ; et, quoiqu'on n'en connaisse aucune pour le premier cas, cela tient peut-être uniquement à ce que les gaz n'ont pu être observés jusqu'ici dans des circonstances suffisamment variées, surtout relativement à la pression. Quant aux trois états d'une même substance, il y a toujours raréfaction dans la fusion des solides et dans la vaporisation des liquides ; sauf quelques anomalies très rares, quoique fort importantes pour la physique concrète, constamment relatives au premier phénomène.

Tous ces divers changemens d'état ont été assujettis par l'illustre Black, à une grande loi fon-

damentale, qui constitue l'une des plus admirables découvertes de la philosophie naturelle, tant par son extrême importance que par sa rigoureuse universalité, que toutes les expériences des physiciens ont, depuis un demi-siècle, irrévocablement constatée. Elle consiste en ce que, dans le passage de l'état solide à l'état liquide, et de celui-ci à l'état gazeux, un corps quelconque absorbe toujours une quantité de chaleur plus ou moins notable, sans élever sa température; tandis que le passage inverse détermine constamment, au contraire, un dégagement de chaleur exactement correspondant à cette absorption. Ainsi, par exemple, la liquéfaction d'une masse de glace à zéro, sans aucun accroissement de température, exige l'absorption de toute la quantité de chaleur que renferme une masse égale d'eau à 75 degrés centigrades; et une masse d'eau à 100 degrés ne peut se vaporiser, quoiqu'elle ne s'échauffe pas, qu'en absorbant 660 fois plus de chaleur qu'il n'en faudrait pour élever d'un degré la température d'un poids égal d'eau liquide. Cette chaleur latente, qui redevient sensible au thermomètre dans le phénomène inverse, a été soigneusement mesurée par les physiciens à l'égard des principales substances naturelles, surtout à l'aide du calorimètre. On ignore encore si

elle est rigoureusement fixe, c'est-à-dire si elle est toujours exactement indépendante des circonstances quelconques qui peuvent éloigner ou avancer artificiellement le degré ordinaire de l'échelle thermométrique où s'effectue le changement d'état. Le cas le mieux étudié, à cet égard, est celui de la vaporisation de l'eau, dont la température normale peut être si aisément augmentée ou diminuée en faisant varier la pression: l'opinion la plus accréditée aujourd'hui, quoiqu'elle soit loin, ce me semble, d'avoir obtenu encore l'assentiment unanime des physiciens, consiste à regarder la chaleur latente nécessaire à cette vaporisation comme parfaitement constante; à quelque température que le phénomène s'accomplisse. Ces dégagemens et ces absorptions de chaleur constituent évidemment, après les phénomènes chimiques, les plus grandes sources de la chaleur et du froid. Sous ce dernier rapport surtout, c'est par une vaporisation, rendue artificiellement très rapide, dans la belle expérience de M. Leslie, qu'ont été produites les plus basses températures que nous connaissions. D'illustres philosophes naturels ont même pensé que la chaleur, si abondamment dégagée dans la plupart des fortes combinaisons chimiques, ne saurait jamais provenir que des divers changemens d'état qui en résultent

ordinairement. Mais cette opinion, quoique vraie pour un très grand nombre de cas, ne peut plus être érigée aujourd'hui en un principe général, comme nous le reconnâtrons dans le volume suivant, à cause des exceptions capitales et incontestables qui la contredisent trop fréquemment.

Tel est, en aperçu, l'ensemble de la thermologie physique, envisagée successivement sous tous ses divers aspects fondamentaux. Je crois devoir en outre classer à sa suite, comme un appendice naturel et indispensable, l'étude des lois relatives à la formation et à la tension des vapeurs, et par suite l'hygrométrie. Cette importante théorie constitue en effet, envers les liquides, le complément nécessaire de la doctrine des changemens d'état. Elle ne saurait, évidemment, être rattachée à aucune autre branche principale de la physique; or, d'un autre côté, son étendue n'est pas assez grande, et surtout, son caractère propre est trop peu tranché, pour qu'elle puisse constituer, par elle-même, une branche essentiellement distincte: c'est donc ici son lieu rationnel.

Saussure a fait rentrer irrévocablement dans le domaine de la physique le phénomène général de l'évaporation, regardé avant lui comme une sorte

d'effet chimique, puisqu'on l'attribuait à l'action dissolvante de l'air sur les liqueurs. Il a montré que l'influence de l'air était alors purement mécanique; et que, loin de favoriser l'évaporation, la pression atmosphérique faisait, au contraire, toujours obstacle à sa rapidité; sauf, bien entendu, ce qui tient au renouvellement du milieu ambiant. Toutefois, cette étude n'est aujourd'hui vraiment complète que lorsque les vapeurs se forment dans un espace circonscrit. Saussure a trouvé alors que la quantité de vapeur formée, en un temps donné, à une température déterminée, dans un espace défini, est toujours la même soit que cet espace ait été entièrement vidé d'air ou rempli d'un gaz quelconque; il en est ainsi encore de l'élasticité de la vapeur, dégagée. La masse et la tension de cette vapeur croissent d'ailleurs sans cesse avec la température; sans qu'il paraisse exister toutefois aucun degré de froid susceptible d'annuler complètement cet important phénomène, puisque la glace elle-même produit une vapeur appréciable à l'exploration délicate de la physique actuelle, quoique sa force élastique soit extrêmement petite. On ignore suivant quelle loi exacte l'accroissement de la température accélère l'évaporation, du moins tant que le liquide reste au-dessous de son terme d'ébullition. Mais les physiciens

se sont occupés soigneusement et avec succès des variations qu'éprouve l'élasticité de la vapeur produite.

A cet égard, les différens liquides, offrent d'abord un point de départ commun, nettement caractérisé : c'est la température propre à l'ébullition de chacun d'eux, si bien marquée par l'immobilité du thermomètre, en vertu de l'absorption de chaleur qu'exige le changement d'état. Au moment de l'ébullition, la tension de la vapeur formée, jusque alors graduellement accrue, à mesure que la température s'élevait, est nécessairement devenue toujours égale, pour un liquide quelconque, à la pression atmosphérique; ce que l'expérience directe peut d'ailleurs confirmer exactement. Or, à partir d'une telle origine, l'illustre M. Dalton, dont tous les divers travaux scientifiques ont constamment présenté à un si haut degré l'indice du véritable esprit philosophique, a découvert cette loi importante, vérifiée jusqu'ici par l'ensemble des observations : les vapeurs émanées de tous les divers liquides ont des tensions continuellement égales entre elles, à des températures équidistantes des termes d'ébullition correspondans, quel que soit d'ailleurs le sens de la différence. Ainsi, par exemple, l'ébullition de l'eau ayant lieu à 100 degrés, et celle de l'alcool à

80 degrés, les deux vapeurs, qui ont alors la même tension, équivalente à la pression de l'atmosphère, auront encore des élasticités égales, d'ailleurs supérieures ou inférieures à la précédente, quand on fera varier ces deux températures caractéristiques d'un même nombre quelconque de degrés. Le nombre des liquides connus a déjà beaucoup augmenté par les travaux des chimistes, depuis l'époque de cette belle découverte; et ces épreuves inopinées n'ont fait jusqu'ici qu'en constater l'exactitude générale. Il est à regretter, pour la perfection rationnelle d'une telle étude, que le génie systématique de M. Dalton ne se soit pas appliqué avec persévérance à saisir une harmonie quelconque entre les températures d'ébullition propres aux différens liquides, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, et toute autre de leurs qualités physiques essentielles : mais jusqu'ici aucune relation analogue n'a été généralement aperçue, et ces températures semblent encore tout-à-fait incohérentes, quoique leur fixité doive d'ailleurs les faire envisager comme d'importans caractères.

Quoi qu'il en soit, la loi de M. Dalton permet, évidemment, de simplifier à un très haut degré la recherche générale du mode suivant lequel la tension des vapeurs varie d'après leur tempé-

rature, puisqu'il suffit dès lors d'analyser ces variations dans une seule vapeur pour qu'elles soient aussitôt connues dans toutes. La suite d'expériences entreprises à cet effet sur la vapeur d'eau par M. Dalton lui-même, avait indiqué une règle fort simple, qui consistait à faire croître la tension en progression géométrique, pour des augmentations égales dans la température. Mais les mesures postérieures, soigneusement exécutées par plusieurs physiciens, ont montré que cette formule ne pouvait être regardée comme une approximation suffisante qu'en s'écartant de la température d'ébullition. M. Dulong a établi depuis, d'après une suite beaucoup plus étendue d'expériences fort exactes, une nouvelle loi empirique, qui correspond jusqu'ici, de l'aveu unanime des physiciens, à l'ensemble des observations : on y fait croître la force élastique de la vapeur proportionnellement à la sixième puissance d'une fonction du premier degré de la température. Quelques géomètres avaient essayé de déterminer *a priori* la loi rationnelle ; mais ces tentatives, beaucoup trop hypothétiques, n'ont conduit qu'à des formules infirmées presque à chaque instant par les observations directes.

L'étude de l'équilibre hygrométrique entre les différens corps humides, constitue un prolonge-

ment naturel de la théorie générale de l'évaporation. Cette importante recherche, dont Saussure et Deluc se sont tant occupés, a conduit, par leurs travaux, à un instrument fort précieux. Mais, quoique l'établissement nécessaire d'un tel équilibre soit maintenant facile à concevoir d'une manière générale, nous n'avons encore que des notions vagues et imparfaites sur les lois qui le régissent, même dans le cas d'un corps plongé dans un milieu indéfini, qu'on a presque exclusivement considéré, et dont l'importance est, à la vérité, prépondérante. La prévision, qui, en tout genre, est la mesure exacte de la science, devient ici à peu près nulle jusqu'à présent.

La faible influence des actions hygrométriques dans l'ensemble des phénomènes de la nature inorganique, contribue beaucoup sans doute au peu d'intérêt qu'une telle étude inspire habituellement aux physiciens. Mais, en considérant sous un point de vue général le système entier de la philosophie naturelle, on reconnaîtrait, au contraire, la haute importance de cette théorie à l'égard des phénomènes vitaux, comme j'aurai soin de le faire ressortir dans le volume suivant. D'après le bel aperçu de M. de Blainville, l'action hygrométrique constitue réellement, dans les corps vivans, le premier degré général et le mode

le plus élémentaire de leur nutrition, comme la capillarité y est le germe des plus simples mouvemens organiques. L'imperfection actuelle de ces deux subdivisions de la physique est donc, sous ce rapport capital, extrêmement regrettable. On a ici l'occasion de vérifier expressément, comme je l'ai indiqué dès le début de cet ouvrage, combien l'instruction trop étroite de presque tous ceux qui cultivent aujourd'hui la philosophie naturelle, et les habitudes trop subalternes qui en résultent pour leur intelligence, sont directement nuisibles aux progrès effectifs des diverses sciences. Deux études fort importantes, que les physiciens peuvent seuls perfectionner convenablement, se trouvent néanmoins très négligées, uniquement parce que leur principale destination concerne une autre partie fondamentale du système scientifique général.

Je me suis efforcé, par les diverses considérations sommairement indiquées dans cette leçon, de caractériser le véritable esprit de la thermologie, envisagée sous tous ses aspects principaux. La nature de cet ouvrage interdisait évidemment de mentionner ici, soit la théorie des différens instrumens essentiels créés par le génie des physiciens et inspirés par le besoin de perfectionner

les explorations, soit les nombreux moyens de vérification qui garantissent aujourd'hui la précision des résultats obtenus. Je ne pouvais pas même signaler ces résultats, en ce qu'ils offrent de spécial, et je devais me borner strictement à l'appréciation philosophique de leurs conséquences générales. Quelque imparfait que soit nécessairement ce rapide examen, il fera concevoir, j'espère, les vrais caractères essentiels propres à l'ensemble de cette belle partie de la physique; il indiquera la liaison rationnelle des divers ordres de recherches qui la composent, ainsi que le degré de perfection où chacun d'eux est aujourd'hui parvenu, et les principales lacunes qu'il laisse encore à remplir.

Afin de compléter réellement cette analyse philosophique de la thermologie, il est maintenant indispensable d'examiner avec soin, quoique d'une manière générale, dans la leçon suivante, comment la partie la plus simple et la plus fondamentale des phénomènes de la chaleur, a pu être ramenée, par le génie de Fourier, à une admirable théorie mathématique.