

pendamment de ce que l'air constitue presque toujours un intermédiaire inévitable, qui concourt à la production de l'équilibre thermométrique entre deux corps éloignés, on voit que c'est seulement l'état de la surface qui peut être déterminé par le simple rayonnement, soit que la température s'élève ou s'abaisse. Pour chacun des deux corps, les parties intérieures, qui contribuent aussi bien que les surfaces à l'état final, ne peuvent s'échauffer ou se refroidir que par voie de propagation contiguë et graduelle. Ainsi, l'étude de la chaleur rayonnante serait, par elle-même, insuffisante à analyser complètement aucun cas réel. De même, en sens inverse, outre que des circonstances artificiellement combinées peuvent seules mettre les deux corps à l'abri de tout rayonnement extérieur, leur action thermologique réciproque ne saurait avoir lieu au simple contact que dans les parties nécessairement limitées où cette contiguïté existe, et le phénomène s'accomplit toujours inévitablement sous l'influence plus ou moins importante du rayonnement mutuel de tous les autres points des deux surfaces. Cette combinaison intime et permanente rend très difficile l'analyse exacte des deux modes fondamentaux de l'action thermologique, quoique leur distinction n'en soit pas moins réelle.

Parmi les trois conditions générales indiquées ci-dessus, relativement à l'intensité de cette action quand elle s'exerce à distance, la différence des températures, qui constitue, il est vrai, la principale, est la seule qui se reproduise certainement et d'une manière identique à l'égard de la propagation de la chaleur par contiguïté. Puisque dans ce cas, les températures des parties simultanément considérées sont nécessairement beaucoup moins inégales, la loi qui fait croître l'influence thermologique proportionnellement à leur différence, peut même y être presque toujours regardée comme l'expression exacte de la réalité. Quant à la loi relative à la direction, elle paraît s'y maintenir aussi, sans qu'on ait pu toutefois s'en assurer formellement jusqu'ici. Mais celle qui concerne la distance doit s'y trouver totalement changée : car, d'une part, l'action des molécules presque contiguës ne saurait être à beaucoup près aussi grande que l'indiqueraient les variations qu'on éprouve tant que les distances restent appréciables ; et, d'un autre côté, en comparant entre eux les divers petits intervalles, le décroissement est sans doute bien plus rapide qu'à l'égard des corps éloignés.

Quel que soit le mode général suivant lequel s'accomplisse l'échauffement de l'un des corps et

le refroidissement de l'autre, l'état final qui s'établit, conformément à ces lois fondamentales, est déterminé numériquement par trois coefficients essentiels, particulièrement affectés à chaque corps naturel, comme l'est, en barologie, sa pesanteur spécifique, et qu'il faut maintenant caractériser.

Avant Fourier, les physiciens avaient toujours confondu sous le nom commun de *conductibilité*, deux propriétés thermologiques très différentes, dont les divers degrés d'intensité sont bien loin de se correspondre exactement dans un grand nombre de cas : 1° la faculté pour chaque corps d'admettre, par sa surface, la chaleur extérieure, ou, en sens inverse, de laisser dissiper au dehors sa chaleur superficielle; 2° la facilité plus ou moins grande qu'il présente à propager graduellement dans l'intérieur de sa masse les changemens quelconques survenus à sa surface. Fourier a proposé de désigner ces deux qualités par les dénominations très expressives de *pénétrabilité* et de *perméabilité*, dont l'usage deviendra sans doute universel, quand on aura convenablement senti l'importance d'une telle distinction élémentaire.

La conductibilité intérieure, ou perméabilité, ne dépend essentiellement que de la nature du corps et de son état d'agrégation. Elle peut présenter, d'un corps à un autre, d'immenses diffé-

rences, dont les plus prononcées ont été reconnues de tout temps par tous les hommes, en opposant, par exemple, à la propagation si facile et si prompte de la chaleur dans l'intérieur de beaucoup de métaux, son mouvement si lent et si pénible dans le charbon, qui, incandescent en certains points, est à peine sensiblement échauffé à quelques centimètres de là. Elle varie d'une manière non moins évidente, avec la constitution physique des corps. La fluidité la diminue tellement, que des physiciens aussi éminens que Rumford ont pu aller jusqu'à en nier complètement l'existence dans les liquides, où la propagation de la chaleur serait ainsi uniquement attribuée à l'agitation intérieure qu'elle y produit nécessairement. Quoique des expériences décisives aient montré ensuite la fausseté de cette opinion, il est demeuré incontestable que la perméabilité proprement dite est extrêmement faible dans les liquides, et moindre encore dans les gaz.

Quant à la conductibilité extérieure, ou pénétrabilité, elle varie sans doute suivant la nature des corps et leur état d'agrégation. Mais elle dépend, en outre, et principalement, des circonstances purement relatives à leur surface extérieure. On sait, par exemple, que la couleur seule de cette surface

exerce, à cet égard, une très grande influence. Il en est encore ainsi de son degré de poli, de la manière plus ou moins régulière dont elle peut être rayée en divers sens, et de plusieurs autres modifications, insignifiantes en apparence, dont les effets généraux ont été soigneusement étudiés par les physiciens. Toutes ces variations se manifestent d'ailleurs identiquement, soit que le corps s'échauffe, soit qu'il se refroidisse. Enfin, la pénétrabilité est assujettie, par sa nature, à changer, pour une même surface, successivement exposée à l'action de divers milieux.

En principe, les degrés si différens que peuvent nous offrir ces deux sortes de conductibilité ne sauraient influencer, sans doute, sur l'état thermologique final qui tend à s'établir entre deux corps quelconques par suite de leur action mutuelle, mais seulement sur l'époque de son entier établissement dans chacun d'eux. Toutefois, comme les questions réelles deviennent souvent, à tous égards, de pures questions de temps, il est clair que, si ces inégalités sont très prononcées, elles doivent influencer effectivement sur l'intensité même des phénomènes que nous observons. Si, par exemple, la perméabilité est assez faible pour qu'on ne puisse produire, en temps opportun, une température déterminée dans l'intérieur du

corps sans appliquer à quelques parties de sa surface une chaleur capable de les fondre ou de les brûler, le phénomène ne pourra évidemment avoir lieu, à moins d'y employer un temps démesuré. En général, plus l'une et l'autre conductibilité seront parfaites, mieux les corps se conformeront réellement aux lois fondamentales de l'action thermologique, à distance, ou au contact. Il serait donc très important de mesurer exactement les valeurs effectives de ces deux coefficients pour tous les corps étudiés. Malheureusement, ces évaluations sont jusqu'ici extrêmement imparfaites. On conçoit aisément que les expériences de conductibilité, d'ailleurs peu étendues, tentées avant la distinction élémentaire établie par Fourier, ne sauraient fournir, à cet égard, que des renseignemens fort équivoques, avec quelque soin qu'elles eussent été exécutées, puisque la pénétrabilité et la perméabilité y étaient toujours confondues. Il est difficile de les instituer de manière à apprécier sûrement l'influence précise propre à chacune de ces qualités. Toutefois, Fourier a indiqué, d'après sa thermologie mathématique, les moyens généraux d'évaluer directement la perméabilité, et, par suite, de mesurer indirectement la pénétrabilité, en défalquant, dans la conductibilité totale, jusque alors seule évaluée, la part de la première propriété.

Mais l'application de ces procédés est encore à peine ébauchée.

Une dernière considération spécifique, qui concourt, avec les deux précédentes, à régler, dans les différens corps, les résultats définitifs de leur action thermologique, résulte de ce que, soit sous le même poids, soit à volume égal, les diverses substances consomment des quantités distinctes de chaleur pour élever également leur température. Cette importante propriété, dont on n'a commencé à se faire une juste idée que dans la dernière moitié du siècle précédent, dépend essentiellement, comme la perméabilité, de la nature des corps et de leur constitution physique, quoique celle-ci y influe beaucoup moins : elle paraît, au contraire, tout-à-fait indépendante des circonstances superficielles qui font tant varier la pénétrabilité. On la désigne habituellement sous la dénomination assez heureuse de *chaleur spécifique*. Elle doit évidemment exercer une influence directe et inévitable sur la valeur de la température commune due à l'équilibre thermologique de deux corps quelconques, et qui ne saurait être également éloignée de leurs températures primitives, si, tout étant d'ailleurs parfaitement semblable, ils diffèrent sous ce seul rapport. L'évaluation exacte des chaleurs

spécifiques a donc une très grande importance en thermologie. Les physiciens s'en sont convenablement occupés, et avec beaucoup de succès. La méthode primitive, imaginée par Crawford, et qu'on a nommée la *méthode des mélanges*, consiste précisément à comparer entre elles les différences de la température commune, une fois bien établie, aux deux températures initiales, pour des poids ou des volumes égaux des deux substances. Mais il est difficile d'obtenir ainsi des résultats bien précis, puisqu'il faudrait pour cela que le mélange et l'action fussent très rapides, et même que le vase et le milieu dans lesquels le phénomène s'accomplit fussent placés d'avance à cette température commune, condition évidemment impossible à remplir avec exactitude. Ce procédé n'est réellement applicable, d'une manière suffisamment approchée, que lorsque l'un des corps, au moins, est à l'état liquide ; il a aussi été heureusement modifié à l'égard des gaz. La précieuse invention du calorimètre, par Lavoisier et Laplace, a fourni plus tard un moyen bien autrement exact, et surtout entièrement général, pour l'évaluation des chaleurs spécifiques. Il consiste à évaluer directement la quantité de chaleur consommée par un corps dans une élévation déterminée de sa température, d'après la quantité de

glace que peut fondre la chaleur qu'il dégage, en revenant de la plus haute température à la plus basse. En prenant les diverses précautions nécessaires pour éviter toute action thermologique du vase et du milieu, ce que l'appareil permet aisément d'obtenir, l'exactitude d'un tel procédé ne laisse rien d'essentiel à désirer, si ce n'est envers les gaz, dont les chaleurs spécifiques sont jusqu'ici moins parfaitement connues.

Tels sont les trois coefficients fondamentaux servant à fixer les températures finales qui résultent de l'équilibre thermologique entre les différens corps. Il est naturel de les supposer d'abord essentiellement uniformes et constans, jusqu'à ce qu'une exploration plus approfondie ait dévoilé clairement aux physiciens les lois de leurs variations effectives. Néanmoins, il serait peu rationnel de concevoir la conductibilité comme nécessairement identique en tous sens, au moins dans un grand nombre de corps, dont la structure varie certainement suivant plusieurs directions distinctes. De même, pour la chaleur spécifique, il est évidemment très vraisemblable qu'elle éprouve des changemens notables à des températures fort écartées, et surtout dans le voisinage de celles qui déterminent un nouvel état d'agrégation, comme quelques expériences

paraissent l'avoir déjà nettement indiqué. Toutefois, ces différentes modifications sont encore tellement incertaines et surtout si peu connues, que les physiciens ne sauraient être blâmés aujourd'hui de ne pas les prendre en considération habituelle.

Caractérisons maintenant la seconde partie essentielle de la thermologie, celle qui concerne les altérations plus ou moins profondes déterminées par la chaleur dans la constitution physique des corps.

Il n'y a peut-être aucun corps dont la structure ne soit, à quelques égards, modifiée pour toujours par une variation de température un peu considérable. Mais il ne saurait être ici question de ces changemens permanens, dont l'étude est d'ailleurs jusqu'à présent à peine effleurée, et ne se rattache encore à aucune notion générale. Ils appartiennent, par leur nature, à ce que j'ai nommé, au commencement de cet ouvrage, la *physique concrète*, c'est-à-dire à l'histoire naturelle du corps correspondant, et nullement à la physique abstraite, seul objet de notre examen philosophique. En tout cas, ils ne se rapporteraient point à la théorie de la chaleur, et rentreraient essentiellement dans l'étude méca-

nique des diverses situations d'équilibre stable propres à chaque système de molécules. Telles sont, par exemple, les influences si remarquables de la chaleur et du froid, pour changer notablement les divers degrés d'élasticité de plusieurs corps. Mais on ne doit considérer, en thermologie que les modifications, à la fois générales et passagères, que produit, dans un corps quelconque, une certaine variation de température, et qui sont détruites par la variation inverse. Or, en se restreignant, comme il convient, aux altérations purement physiques, il faut les distinguer en deux classes, suivant qu'elles se bornent à un simple changement de volume, ou qu'elles vont jusqu'à produire un nouvel état d'agrégation. Sous l'un ou l'autre point de vue, cette partie de la thermologie est certainement aujourd'hui celle qui laisse le moins à désirer.

Quoique de tels phénomènes coexistent toujours, par leur nature, avec ceux de l'échauffement ou du refroidissement, ces deux ordres d'effets n'en sont pas moins parfaitement distincts, non-seulement, comme il est évident, quant aux circonstances qui les constituent, mais aussi quant à l'action thermologique qui les produit. Soit qu'il s'agisse d'une variation de volume ou d'un changement d'état, on doit les rapporter à une action

thermologique tout-à-fait indépendante, dans sa loi et dans son degré, de celle d'où résulte la nouvelle température correspondante. Quand on échauffe un corps quelconque, l'élévation de la température n'est jamais déterminée que par une portion, souvent peu considérable, de la chaleur effectivement consommée, dont le reste, insensible au thermomètre, est absorbé pour modifier la constitution physique. C'est ce qu'on exprime ordinairement aujourd'hui en disant que cette partie de la chaleur est devenue *latente*, expression qui peut être conservée comme l'énoncé concis d'un fait capital, malgré qu'elle rappelle une hypothèse sur la nature de la chaleur. Telle est la loi fondamentale découverte par l'illustre Black, d'après l'observation des cas où elle était nécessairement irrécusable, c'est-à-dire, lorsqu'une modification physique très prononcée n'est accompagnée d'aucun changement de température dans le corps modifié, comme je l'indiquerai ci-dessous. Quand les deux effets coexistent, leur décomposition est beaucoup plus difficile à constater nettement, et surtout à mesurer, quoique toujours indiquée, au moins par l'analogie. On ignore d'ailleurs encore si elle suit constamment la même marche générale dans les différens corps, sauf la variété des coefficients.

Après cette importante notion préliminaire, commune aux deux ordres de modifications physiques produites par la chaleur, considérons les lois générales de chacun d'eux, et en premier lieu, des changemens de volume.

En principe, tout corps homogène se dilate par la chaleur et se condense par le froid; il en est encore ainsi pour les corps hétérogènes, tels surtout que les tissus organisés, lorsqu'on envisage séparément leurs diverses parties constituantes. Cette règle élémentaire ne souffre d'exception qu'à l'égard d'un très petit nombre de substances, et seulement même dans une portion fort limitée de l'échelle thermométrique. Toutefois, comme la principale anomalie est relative à l'eau, elle acquiert, en histoire naturelle, une très grande importance. Mais elle ne saurait en avoir beaucoup dans la physique abstraite, si ce n'est par l'ingénieux parti que les physiciens ont su en tirer pour se procurer une unité de densité parfaitement invariable, et facile à reproduire avec exactitude, du moins quand l'eau est chimiquement pure. Néanmoins, ces diverses anomalies, quoique évidemment trop rares et trop circonscrites pour infirmer aucunement la loi générale, sont très propres, sous le point de vue philosophique, à vérifier, d'une manière fort sensible,

l'insuffisance radicale des conceptions chimériques par lesquelles on prétend expliquer *à priori* ces dilatations et ces contractions, puisque, d'après de telles hypothèses, toute augmentation de température devrait toujours produire un accroissement de volume, et toute diminution un décroissement, sans que l'inverse pût jamais avoir lieu.

Les solides se dilatent, en général, beaucoup moins que les liquides pour une même élévation de température, et ceux-ci, à leur tour, moins que les gaz, non-seulement lorsqu'un même corps passe successivement par ces trois états, mais aussi en comparant des substances différentes.

La dilatation des solides, quoique peu prononcée, s'effectue avec une parfaite uniformité, du moins entre les limites où elle a été examinée, et qui sont, il est vrai, fort éloignées, ordinairement, du point de leur fusion. Elles n'ont encore été exactement appréciées qu'envers un très petit nombre de corps.

On a plus complètement étudié la dilatation des liquides, dont les lois avaient naturellement une importance si fondamentale, à cause de la vraie théorie du thermomètre, sans laquelle toutes les explorations thermologiques seraient radicale-