

CHAPITRE IV

ACTIONS MÉCANIQUES

259. **Actions mécaniques statiques produites par la chaleur.** —

La chaleur communiquée à un corps est capable de produire des effets mécaniques; deux cas très différents sont à considérer suivant qu'il s'agit d'effets statiques ou d'effets dynamiques. Les premiers correspondent à la production ou à l'augmentation de pressions, sans déplacements; les seconds correspondent à la production de travail mécanique. Nous nous occuperons d'abord des pressions.

Considérons un corps qui soit placé dans des conditions telles que ses dimensions ne puissent changer, une barre solide placée entre des points d'appui dont la distance est invariable, un liquide ou un gaz renfermé dans un vase dont la capacité ne puisse absolument pas changer ou tout au moins, car cette condition est pratiquement irréalisable, dont la variation de capacité soit négligeable. Si l'on vient à élever la température de ce corps, qui ne peut se dilater, il exercera une pression sur les obstacles qui s'opposent à sa dilatation, pression qui croîtra avec l'élévation de température. La valeur de cette pression est considérable: les variations de longueur ou de volume qui sont ainsi empêchées sont faibles cependant, mais on sait que de faibles variations de ce genre correspondent à l'action de forces très puissantes. Or l'action est la même que si, après qu'on a laissé le corps se dilater librement par l'action de la chaleur, on venait à exercer sur lui des pressions capables de la ramener à ses dimensions primitives.

Bien que, pour les gaz, la dilatation par l'action de la chaleur soit considérable, les actions mécaniques sont moindres que pour les solides et les liquides, parce que les changements de volume sont produits facilement par des variations de pression relativement faibles.

Si l'on soumet un corps à un refroidissement ses dimensions tendent à diminuer: s'il s'agit d'un solide dont les extrémités sont invariablement fixées, le refroidissement donne naissance à une traction énergique entre ses extrémités. S'il s'agit d'un gaz, il y a une diminution de la pression en tous les points. Dans le cas d'un liquide, comme il n'y a pas de liaison entre le corps et la paroi, il se produit un vide qui se remplit de vapeur à la tension maxima qui correspond à la température de l'expérience.

Il y a lieu de tenir compte de ces effets toutes les fois qu'un corps doit être soumis à des variations de température notables: des précautions minutieuses doivent être prises notamment dans les constructions où l'on emploie des pièces métalliques de grandes dimensions. Mais nous n'avons rien de particulier à dire au sujet d'applications qui pourraient intéresser le physiologiste ou le médecin, pour les corps solides ou liquides. Il n'en

est pas de même pour les corps gazeux: il y a là des actions et des résultats dont la connaissance est indispensable.

260. **Pressions des gaz aux diverses températures.** — Comment varie la pression dans un corps gazeux dont la température change sans que le volume soit modifié? Différents cas sont à considérer suivant que le corps gazeux est ou non un gaz parfait.

Occupons-nous d'abord du cas des gaz parfaits, c'est-à-dire des gaz qui suivent les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

La formule générale (229) que nous avons trouvée :

$$\frac{h v}{1 + \alpha t} = h_0 v_0,$$

permet de résoudre immédiatement la question, il nous suffit d'y introduire la condition $v = v_0$ qui exprime que le volume n'a pas changé. On a alors :

$$h = h_0 (1 + \alpha t).$$

C'est-à-dire que la relation qui existe entre les pressions à volume constant et à des températures différentes est la même que celle qui existe entre les volumes à pression constante et à des températures différentes.

Dans cette formule α est appelé *coefficient d'élasticité* (on dit quelquefois *coefficient de dilatation à volume constant*; mais, outre que cette dénomination est plus longue, elle doit être rejetée à cause de la contradiction qui existe entre l'idée de *dilatation* et celle de *volume constant*).

Par la manière même dont cette formule a été trouvée, on voit que le coefficient d'élasticité est égal au coefficient de dilatation.

Sans insister sur les détails, on comprend comment on peut vérifier cette formule: il suffit de relier à un manomètre un vase contenant le gaz à étudier. Ce gaz est porté à des températures différentes, et dans chaque cas, en enlevant ou ajoutant du mercure dans le manomètre, on ramène le volume du gaz à sa valeur primitive. Les indications du manomètre donnent la valeur de la pression pour chaque température à laquelle le gaz est soumis et l'on reconnaît que les nombres trouvés satisfont bien à la formule.

261. **Pressions dans les vapeurs.** — Lorsque le gaz est voisin de la liquéfaction, il faut distinguer deux cas, suivant qu'il est ou non saturant.

S'il n'est pas saturant, et quoiqu'il ne soit pas en présence d'un excès de liquide, il ne suit pas les lois de Mariotte et de Gay-Lussac; la formule précédente ne lui est donc pas applicable. Des expériences faites d'une façon analogue à celles que nous venons d'indiquer montrent qu'il n'y a pas alors de relation simple entre la température et la pression; celle-ci croît plus vite que ne l'indiquerait la formule, mais les différences sont d'autant moindres que le gaz est plus éloigné de la liquéfaction.

Tout autre est la question dans le cas où la vapeur est saturante, où elle est en présence d'un excès de liquide; dans ce cas la pression mesurée est ce que nous avons appelé la *tension maxima*, qui est indépendante et de la quantité de liquide et de l'espace rempli par la vapeur. Cette tension maxima varie avec la température, croissant quand celle-ci s'élève et inversement. Mais, même en maintenant le volume constant, les variations observées sont d'un autre ordre que celles étudiées plus haut: elles ne se rapportent pas à une masse constante de vapeurs, mais à des masses variables avec la température, comme il est facile de s'en assurer en mesurant la quantité de liquide en excès qui varie aussi avec la température, diminuant quand celle-ci s'élève.

La variation de la tension maxima avec la température est donc d'un autre ordre que la variation de pression des gaz et des vapeurs non saturantes; elle ne dépend pas seulement d'une propriété de ceux-ci, mais elle dépend des conditions du changement d'état: elle n'est pas moins intéressante à connaître.

Il y a des considérations entièrement analogues aux précédentes à signaler, pour le cas où une vapeur est en contact avec le même corps à l'état solide: il y a là encore une tension maxima dépendant des conditions du changement d'état, du passage de l'état solide à l'état de vapeurs.

262. — Nous ne donnons pas les diverses méthodes (Dalton, Regnault, Gay-Lussac) qui ont été employées pour mesurer les tensions maxima aux diverses températures. Nous dirons seulement que, pour aucun corps, il n'existe de relation simple entre la température et la tension maxima, cette dernière croissant beaucoup plus rapidement que celle-là. Aussi les résultats ne peuvent-ils être représentés par une formule; ils sont donnés dans des tables où dans deux colonnes sont placées en regard la température et la tension maxima correspondante. Nous donnons cette table résumée pour l'eau.

On peut, bien entendu, remplacer cette table par une courbe tracée de la façon que nous avons indiquée d'une manière générale (VIII).

Température.	Tension.	Température.	Tension.	Température.	Tension.
— 30°	0 ^{mm} , 4	20°	17 ^{mm} , 4	99,5	746 ^{mm} , 5
— 20	0, 9	22	19, 7	100	760 = 1 ^{atm} .
— 10	2, 1	24	22, 7	120	2
0	4, 6	26	25, 0	134	3
2	5, 3	28	28, 1	144	4
4	6, 1	30	31, 6	152	5
6	7, 0	40	54, 9	159	6
8	8, 0	50	92, 0	171	8
10	9, 1	60	148, 8	180	10
12	10, 4	70	232, 0	199	15
14	11, 9	80	354, 0	213	20
16	13, 5	90	525, 4	225	25
18	15, 3	99	732, 2		

263. **Actions dynamiques produites par la chaleur.** — On sait depuis longtemps qu'il existe des relations entre la chaleur et le mouvement; mais ces relations n'ont pu se préciser que lorsqu'on a introduit la mesure du travail mécanique d'une part, et d'autre part celle, non de la température, mais des quantités de chaleur: c'est il y a un demi-siècle à peine que la question s'est présentée sous sa vraie forme par la découverte de l'équivalent mécanique de la chaleur (1843, Mayer, Joule, Colding).

Pendant longtemps, tant qu'on a considéré la chaleur comme un fluide, on a admis que cet agent ne pouvait absolument pas varier de quantité et que, seulement, sa répartition pouvait changer. Les faits que nous allons citer montrent que cette notion n'est pas exacte, et que si on peut l'admettre tant que la chaleur ne produit aucun effet autre que des effets thermiques, il n'en est plus de même si, concurremment, il se produit des actions différentes, du travail mécanique, des changements d'état, des actions chimiques, par exemple. Nous nous occuperons seulement maintenant des actions mécaniques, et nous étudierons d'abord un cas simple.

Considérons un corps de pompe dans lequel se meut un piston; nous supposons la dilatation du cylindre nulle ou au moins assez petite pour pouvoir être négligée; le fond de ce corps de pompe fermant absolument celui-ci, introduisons le piston de manière à ce qu'il emprisonne une certaine masse d'air, et soumettons cet appareil à une source de chaleur qui amène l'air de la température t à la température t' , par exemple. Ce résultat peut être atteint dans deux conditions différentes, soit en maintenant le piston à une position invariable par un arrêt quelconque, en empêchant l'air de se dilater, soit au contraire en laissant le piston se mouvoir, ce piston pouvant d'ailleurs être chargé d'un poids ou non. Nous n'observerons aucune différence entre les deux actions si nous nous bornons à observer avec un thermomètre les variations de température; mais il n'en sera plus de même si nous avons pu, par un procédé quelconque, évaluer les quantités de chaleur fournies à l'air. On reconnaît en effet alors, que pour faire varier la température entre les mêmes limites de t à t' , il faut fournir plus de chaleur dans le deuxième cas que dans le premier; si la quantité de chaleur q fournie dans le premier cas est suffisante pour produire la variation thermique, et si dans le second cas il a fallu fournir une quantité $q' > q$, il est naturel de se demander ce qu'est devenue la quantité $q' - q$ qui n'a pas été utilisée pour produire la variation thermique. Si nous analysons le phénomène nous reconnaissons que, en plus de la variation thermique qui est commune aux deux cas, il y a, dans celui où le piston se déplace, production de travail mécanique correspondant au déplacement du piston qui ne peut se produire qu'en surmontant les forces qui s'opposent à son mouvement, à savoir le poids qui charge le piston, le poids du piston lui-même et la

pression atmosphérique qui existe dans tous les cas, même si le piston n'est pas chargé, même s'il est équilibré par un contrepoids. Dans le cas où le piston est invariablement fixé, il n'y a pas production de travail, puisqu'il n'y a pas de déplacement (XLV).

264. — Cette expérience, qu'il n'est pas aussi simple de réaliser que nous venons de l'indiquer, montre donc une circonstance dans laquelle, d'une part, il disparaît une certaine quantité de chaleur sans produire d'effet thermique, d'autre part, il apparaît une certaine quantité de travail mécanique dont nous ne voyons pas l'origine dynamique. On conçoit aisément qu'il doive y avoir une relation entre ces deux éléments; mais ce qui est capital, ce qui fait l'importance extrême de l'explication qui a été donnée, c'est qu'on a admis qu'ils sont la transformation l'un de l'autre; le travail mécanique apparu n'est autre que la chaleur disparue qui se manifeste sous une autre forme : le travail mécanique et la chaleur sont deux *modalités de l'énergie*.

Pour que cette idée puisse être acceptée, il faut évidemment renoncer à l'idée que la chaleur est un fluide d'une nature quelconque; on ne saurait comprendre qu'un fluide puisse se transformer en travail mécanique, en mouvement. La transformation se comprend aisément, au contraire, si l'on admet que la température soit liée au mouvement des molécules des corps, que la quantité de chaleur soit représentée par la force vive de ces molécules en mouvement. La transformation de la chaleur en travail revient en somme à la transformation d'un mouvement moléculaire en un mouvement de totalité, transformation que l'on peut concevoir sans difficulté.

265. — L'exemple que nous avons cité n'est pas le seul dans lequel on trouve des résultats qui conduisent aux mêmes conclusions; on peut citer encore le cas de la machine à vapeur qui a été étudié avec beaucoup de soins par divers observateurs, notamment par Hirn. On a pu mesurer, avec une approximation suffisante, la quantité de chaleur apportée par la vapeur pénétrant dans le corps de pompe d'une part, et d'autre part la quantité de chaleur possédée par la vapeur sortant de la machine, ainsi que celle perdue par refroidissement. Lorsque la machine ne fonctionne pas ces deux quantités sont égales; lorsqu'elle fonctionne, et quoique les conditions thermiques restent les mêmes, la première somme est plus grande que la seconde : donc, dans ce cas encore il y a eu disparition d'une certaine quantité de chaleur, en même temps que production de travail mécanique. On est donc conduit à la même conclusion que précédemment.

266. — Mais si cette conclusion est exacte, si la chaleur et le travail mécanique sont, au fond, de même nature, puisque la chaleur peut se transformer en travail mécanique, la transformation inverse doit être possible.

Elle l'est en effet, et les exemples qu'on en peut citer sont nombreux; nous en citerons quelques-uns seulement :

Lorsqu'un corps est placé sur un plan horizontal et qu'on lui imprime une certaine vitesse, il devrait continuer à se mouvoir uniformément, la seule force, son poids, perpendiculaire à la direction du mouvement, ne pouvant influer sur la valeur de la vitesse. L'expérience montre cependant qu'il n'en est rien et que pour que le corps continue son mouvement avec la même vitesse, il faut lui communiquer constamment du travail mécanique. Que devient ce travail qui n'est pas utilisé à vaincre une résistance, qui ne modifie pas la force vive du système puisque la vitesse ne change pas? il est disparu, perdu au point de vue mécanique. Mais si l'on étudie avec soin les conditions physiques de l'expérience, on reconnaît que la température des corps s'est élevée, qu'il y a eu par suite production de chaleur. D'où vient celle-ci? On comprend que la réponse est la même que dans le cas précédent : la chaleur apparue n'est autre que le résultat de la transformation du travail mécanique disparu ¹.

Dans le choc on constate également une perte de force vive et une production de chaleur qui se manifeste par une élévation de température. Une balle de plomb placée sur une enclume s'échauffe notablement par l'action de coups de marteau, une tige de fer énergiquement forgée à froid peut être amenée au rouge. On a vu des boulets, arrêtés par des murailles d'acier, devenir incandescents au moment du choc. Tous ces faits et d'autres analogues conduisent aux mêmes conclusions que les exemples précédents.

Il va sans dire que cette conclusion n'est et ne saurait être qu'une hypothèse, tant que nous ne pourrions voir, apprécier, mesurer les mouvements moléculaires dont nous parlons. Mais cette hypothèse donne raison de tant de faits, les conséquences qu'on en a déduites sont si complètement d'accord avec l'expérience qu'elle a des probabilités de certitude.

Nous dirons donc que :

La chaleur peut se transformer en travail mécanique et réciproquement;

ou avec Tyndall :

1. En mécanique, de parti pris, on néglige les effets physiques, on dit que, dans ce cas, le mouvement donne naissance à une force qu'on appelle le *frottement*, et le travail disparu est employé à vaincre cette force. Mais qu'est-ce que cette force? comment prend-elle naissance?

D'autre part, en physique, admettant l'existence du frottement, on était conduit à dire que le frottement produit de la chaleur. On voit alors que le frottement est un intermédiaire que l'on a introduit en mécanique pour tenir compte de l'effet physique à l'aide de l'un des éléments employés dans cette science, une force; mais la commodité que peut présenter l'emploi de cet intermédiaire ne doit pas masquer son véritable caractère d'un auxiliaire qui peut être avantageux, mais qui n'a pas d'existence propre, indépendante.

La chaleur est un mode de mouvement ;
ou encore d'une manière plus générale :

La chaleur est, comme le travail mécanique, une des modalités de l'énergie.

267. **Équivalent mécanique de la chaleur.** — Si l'on admet l'hypothèse que nous venons d'indiquer, on conçoit qu'il doive exister une relation entre les quantités de chaleur et de travail mécanique qui peuvent se transformer l'une dans l'autre; et cette relation ne peut être autre que la proportionnalité. Si donc l'expérience conduit à cette loi, ce sera une probabilité de plus en faveur de l'hypothèse.

Il semblerait au premier abord que les expériences à faire pour déterminer cette loi doivent être simples : il s'agit de mesurer d'une part une quantité de chaleur apparue ou disparue, d'autre part une quantité de travail mécanique disparue ou apparue, et de comparer les nombres obtenus.

En réalité, la question est plus complexe : l'action mécanique ne produit pas seulement de la chaleur, elle produit aussi des changements dans les conditions du mouvement (on peut en tenir compte exactement) et des déformations du corps dans lequel se fait la transformation. Or on n'a pas de moyens de connaître la partie du travail qui est utilisée pour cette déformation, et par suite on ne sait quelle est la quantité de travail qui a été transformée. Il est donc nécessaire d'employer des corps pour lesquels la déformation se fasse sans exiger de travail mécanique, c'est-à-dire des gaz ou des liquides.

Même dans ces conditions, l'expérience est encore délicate, car elle comporte de nombreux éléments dont il faut tenir compte et qui exigent des mesures multipliées et des corrections.

Les expériences ont vérifié la loi de proportionnalité que l'on pouvait supposer comme nous l'avons dit. On peut donc dire :

Lorsque dans une expérience il n'existe à considérer que des phénomènes thermiques et des phénomènes mécaniques, les quantités de chaleur apparue ou disparue sont proportionnelles aux quantités de travail mécanique disparu ou apparu.

On énonce quelquefois cette loi en l'abrégant sous la forme suivante :

Les transformations de chaleur en travail mécanique ou réciproquement se font par voie d'équivalence.

Si nous désignons par q et q' deux quantités de chaleur, par \mathcal{C} et \mathcal{C}' les quantités de travail mécanique correspondant, on aura donc :

$$\frac{q}{q'} = \frac{\mathcal{C}}{\mathcal{C}'},$$

ou encore :

$$\frac{\mathcal{C}}{q} = \frac{\mathcal{C}'}{q'}.$$

La valeur de ce rapport a été trouvée la même sensiblement pour les différents corps sur lesquels on a opéré. En se basant sur un raisonnement déduit de théorèmes de mécanique dont, il faut le reconnaître, on étend un peu le champ d'action, on est conduit à admettre qu'il doit être le même pour tous les corps. Nous dirons donc :

Quel que soit le corps à l'aide duquel se fait la transformation du travail mécanique en chaleur ou réciproquement, il y a un rapport constant entre le travail mécanique et la quantité de chaleur qui se correspondent.

Cet énoncé constitue ce qu'on appelle le 1^{er} principe de la *théorie mécanique de la chaleur* ou *thermodynamique*.

Soit E la valeur du rapport constant qui existe entre une quantité de travail \mathcal{C} et la quantité de chaleur correspondante q . On a :

$$E = \frac{\mathcal{C}}{q}.$$

En général, dans cette formule \mathcal{C} est exprimé en kilogrammètres, q en calories. En y faisant $q = 1$, on voit que E est le nombre de kilogrammètres qui correspond à la transformation de 1 calorie : ce nombre a reçu le nom d'*équivalent mécanique de la chaleur*.

On fait quelquefois usage du rapport inverse qui est également constant. Soit A la valeur de ce rapport, on a :

$$A = \frac{q}{\mathcal{C}}.$$

Si dans cette formule on fait $\mathcal{C} = 1$, on voit que A est le nombre de calories qui correspond à la transformation de 1 kilogrammètre : ce nombre a reçu le nom d'*équivalent calorifique du travail mécanique*.

D'après l'ensemble des recherches faites la valeur de E diffère peu de 425 kilogrammètres; par suite, celle de A diffère peu de $\frac{1}{425}$ de calorie.

268. **Rendement. Principe de Carnot.** — La connaissance des relations intimes qui existent entre le travail mécanique et la chaleur et celle de l'équivalent mécanique de la chaleur a été le point de départ d'une série de recherches très importantes, constituant ce qu'on appelle la thermodynamique, qui a déjà fourni d'intéressantes relations entre divers phénomènes physiques; nous ne pouvons insister cependant à cause du caractère mathématique de cette partie de la science.

Il est toutefois un énoncé que nous devons donner, sans démonstration, parce que nous aurons ultérieurement à l'utiliser.

Considérons un appareil quelconque, une machine à vapeur, par exemple, dans lequel de la chaleur est transformée en travail mécanique. Soit Q_0 la quantité de chaleur fournie dans un temps donné, soit Q la

quantité de chaleur recueillie à la sortie, il y a donc eu une quantité de chaleur $Q_0 - Q$ qui, transformée en travail mécanique, a fourni $E(Q_0 - Q)$ kilogrammètres. S'il avait été possible de transformer toute la chaleur fournie, la quantité de travail obtenue serait $E Q_0$; on appelle *rendement* de la machine R, le rapport entre la quantité de travail qui a été réellement fournie et la quantité totale qu'il y a, en puissance, dans l'appareil. On a donc :

$$R = \frac{E(Q_0 - Q)}{E Q_0} = \frac{Q_0 - Q}{Q_0}.$$

269. — Considérons un corps ou un système de corps qui subisse des modifications de forme, de volume, de pression, un changement physique, en un mot, ou même un changement chimique : c'est ce qu'on appelle une *transformation*. En général, pendant cette transformation, le corps aura reçu ou fourni une certaine quantité de chaleur; en même temps, généralement aussi, le corps aura produit ou absorbé une certaine quantité de travail mécanique.

Si le corps ou le système considéré partant d'un état déterminé par des conditions physiques, y revient après avoir subi des transformations, on dit qu'il a parcouru un *cycle*.

Un corps, passant d'un état à un autre, subit une transformation d'une manière *reversible*, lorsqu'il peut revenir du second état au premier en repassant en sens contraire par les mêmes conditions, températures et pressions notamment et en absorbant ou fournissant, aux divers instants de la transformation, des quantités de chaleur égales à celles qu'il avait fournies ou absorbées aux phases correspondantes de la première transformation.

Un liquide, à une température déterminée passant à l'état de vapeur à la température et sous une pression donnée, absorbe de la chaleur; cette transformation de l'état liquide à l'état de vapeur se produit d'une manière *reversible*, car la vapeur peut repasser à l'état liquide à la même température en abandonnant la quantité de chaleur qu'elle avait absorbée.

Mais la transformation d'un corps qui subit un frottement et dégage par suite une certaine quantité de chaleur ne se fait pas d'une manière *reversible*, parce que, en revenant à l'état primitif, le frottement éprouvé n'absorbe pas de chaleur, action inverse de celle qui s'était manifestée d'abord.

Il importe de remarquer que, quoique l'expression soit souvent employée, qu'une transformation n'est pas, en soi, *reversible* ou non *reversible*, elle a l'un ou l'autre de ces caractères par les conditions extérieures qui l'ont accompagnée et non par elle-même.

Un cycle qui ramène un corps à ses conditions initiales peut être

considéré comme formé par une succession de transformations : il est *reversible* si les diverses transformations qui le composent possèdent ce même caractère.

On dit qu'une transformation est *isotherme* lorsqu'elle a lieu à une température constante; elle est *adiabatique* si, pendant qu'elle a lieu, le corps considéré ne reçoit ni ne fournit aucune quantité de chaleur.

On appelle *cycle de Carnot*, un cycle formé de deux transformations adiabatiques comprises entre deux transformations isothermes de température différente :

Carnot a énoncé une loi générale, qui, dans ses conséquences, s'est trouvée d'accord avec les résultats expérimentaux et qui constitue le *deuxième principe* de la thermodynamique :

Lorsqu'un corps subit des transformations qui ont lieu d'une manière reversible suivant un cycle de Carnot, le rendement est indépendant de la nature du corps et ne dépend que de la température correspondant aux isothermes qui figurent dans ce cycle.

270. — Soit t la température d'un corps, Q le coefficient de dilatation des gaz qui est $0,00365 = \frac{1}{273}$. On est conduit par diverses considérations que nous ne pouvons développer à introduire la quantité $273 + t$. Cette quantité qui déterminerait la température si le zéro était abaissé de 273° est ce qu'on appelle la *température absolue* du corps.

Soient T_0 et T les températures absolues du corps considéré correspondant aux deux isothermes du cycle de Carnot *reversible* que nous supposons. La valeur R du rendement est donnée par la relation :

$$R = \frac{T_0 - T}{T_0}.$$

En se reportant à la définition que nous avons donnée de R, on a donc :

$$\frac{Q_0 - Q}{Q} = \frac{T_0 - T}{T_0};$$

ou :

$$1 - \frac{Q}{Q_0} = 1 - \frac{T}{T_0};$$

ou bien encore :

$$\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q}{T} = 0.$$

Cette dernière relation peut se généraliser et s'étendre alors à un cycle *reversible* quelconque, elle permet de déduire des conséquences très importantes au point de vue de diverses propriétés physiques des corps.

Nous ne pouvons insister sur ces recherches de thermodynamique qui

sont plutôt du domaine de la physique mathématique : nous nous bornerons actuellement à citer une des conséquences générales auxquelles on est conduit et qui est connue sous le nom de loi de Clausius :

Il est impossible de faire passer de la chaleur d'un corps froid sur un autre plus chaud sans dépenser du travail mécanique, ou sans qu'une certaine quantité de chaleur passe d'un corps chaud à un autre plus froid.

Nous aurons l'occasion de signaler quelques autres conséquences indirectes du deuxième principe général de la thermodynamique.

CHAPITRE V

CHANGEMENTS D'ÉTATS

271. Changements dans les propriétés des corps par la chaleur.

— La chaleur agit sur les corps pour modifier leurs propriétés et les actions moléculaires diverses qu'ils peuvent produire. Nous avons déjà indiqué, en parlant de ces propriétés et de ces actions dans le livre précédent, quelle est l'influence des variations de température, quelle est par conséquent l'influence des quantités de chaleur fournie ou soustraite aux corps, puisque nous savons que les variations de température sont liées aux variations de quantité de chaleur.

Sans revenir sur le détail de ce que nous avons dit, nous voyons, par exemple, que lorsqu'on élève la température de divers corps solides, en leur fournissant une certaine quantité de chaleur, ils se ramollissent, deviennent pâteux, ce qui revient à dire que leurs molécules sont moins invariablement liées entre elles, que les liaisons qui existaient entre elles ont diminué de valeur.

Nous avons dit aussi que l'élévation de température, c'est-à-dire l'action d'une plus grande quantité de chaleur, facilite la solubilité des solides, c'est-à-dire encore concourt à détruire les liaisons qui existaient entre les molécules lorsque le corps était à l'état solide.

L'élévation de température diminue la solubilité des gaz, c'est-à-dire qu'elle concourt à faire passer à l'état gazeux un corps qui, en dissolution, était à l'état liquide; la quantité de chaleur fournie a donc également eu pour effet de rendre des molécules plus libres.

Sans qu'il soit nécessaire d'insister, on voit que cette action de la chaleur qui se manifeste, au point de vue thermique, par une élévation de température a, d'autre part, comme résultat, de modifier les conditions des molécules les unes par rapport aux autres.

On peut donc comprendre aisément que, lorsque les effets dont nous

venons de parler se produisent sans qu'on fournisse de la chaleur, il doit se produire un refroidissement; ou que, inversement, la température doit s'élever si l'action se produisant ordinairement avec soustraction de chaleur, cette soustraction ne se produit pas.

On peut comprendre aisément aussi, que l'action de la chaleur qui rend moins invariables les liaisons des molécules d'un solide, puisse arriver, seule, à les rendre absolument libres, c'est-à-dire puisse faire passer le solide à l'état liquide; — que, de même, elle peut, seule, amener à l'état gazeux un liquide isolé, comme elle le fait pour un gaz en dissolution. En un mot, on comprend que la chaleur puisse produire des changements d'état.

Le mode d'action de la chaleur dans les cas de ce genre s'explique par la considération de la possibilité de la transformation réciproque du travail mécanique et de la chaleur. Nous allons étudier à ce point de vue quelques-unes des modifications déjà indiquées et principalement les changements d'états dont nous aurons, en outre, à faire connaître les conditions et les lois.

272. — Nous avons dit que lorsqu'on chauffe un corps, un solide par exemple, sa chaleur spécifique est constante, c'est-à-dire qu'il faut lui fournir la même quantité de chaleur pour produire le même effet thermique, l'élévation de température de 1° par exemple : Il y a proportionnalité entre l'effet thermique et la cause chaleur. Cette proportionnalité subsiste, sensiblement au moins, tant que le corps reste solide; pour certains corps tels que la glace, par exemple, elle subsiste donc jusqu'au moment où, comme nous allons le dire, l'eau passe brusquement à l'état liquide. Mais il n'en est pas ainsi pour les corps qui se ramollissent, qui deviennent pâteux avant d'atteindre l'état liquide. Étudions un de ces corps et mesurons sa chaleur spécifique aux diverses températures, on voit qu'elle varie à partir de l'instant où il se manifeste une variation dans la consistance, variation qui doit être considérée comme reliée aux variations de position et d'action des molécules les unes par rapport aux autres. Autrement dit, tant que le corps conserve sa consistance primitive, tant qu'il est franchement solide, il faut des quantités de chaleur égales pour produire d'égales variations thermiques, par exemple pour élever la température de 1°. Mais pour ce même effet thermique, il faut fournir une plus grande quantité de chaleur lorsque le corps commence à devenir mou. Si l'on admet que pour produire l'effet thermique seul la quantité de chaleur ne varie pas ou du moins très peu, on est conduit à supposer que l'excès de chaleur fournie est utilisé à produire le changement moléculaire; cette chaleur serait transformée en travail mécanique et servirait à déplacer les molécules ou à changer les conditions de leur mouvement : l'absorption de chaleur serait la cause du changement de propriétés considérées.