

le serpentin s'échauffe, si bien qu'après un certain temps sa température ne serait plus assez basse pour produire la condensation. Aussi faut-il placer le serpentin dans un réfrigérant R, vase dans lequel on fait constamment arriver de l'eau froide par la partie inférieure; cette eau s'échauffe par son contact avec le serpentin, s'élève et vient s'écouler par la partie supérieure en t. On arrive ainsi à maintenir le serpentin à une température qui assure la condensation de la vapeur.

305. — Il importe de remarquer que si, parmi les corps solides qui sont dans le liquide, il y en a qui soient volatils, ils pourront être entraînés au moins partiellement avec la vapeur si l'opération est conduite trop rapidement.

La distillation d'un mélange de deux liquides dont les points d'ébullition sont différents ne permet pas de séparer ces liquides, même en maintenant la température au point d'ébullition le plus bas; à cette température, l'un des liquides pourra fournir des vapeurs par ébullition, mais l'autre en fournira par évaporation. C'est donc un mélange des deux liquides qu'on recueillera dans le serpentin, mais dans ce mélange la proportion du liquide le moins volatil sera plus faible que dans le mélange primitif. En reprenant le liquide distillé et le soumettant à une nouvelle distillation, on diminuera encore la proportion du liquide le moins volatil, et on pourra recommencer plusieurs fois de la même façon.

Les proportions des deux liquides qui passent sont très variables : elles dépendent des points d'ébullition des deux liquides mélangés, de leur proportion dans le mélange et de la température à laquelle a été faite la distillation.

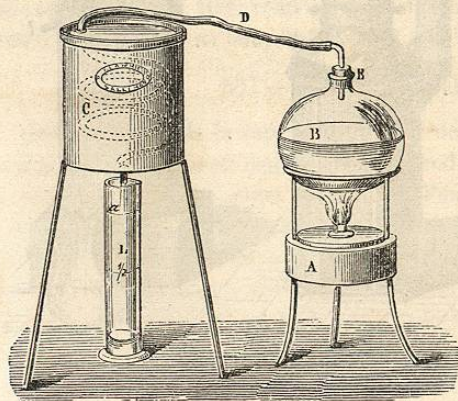


Fig. 114.

Quand il y a une différence un peu notable entre les points d'ébullition des deux liquides, le liquide le plus volatil passe tout entier avant la fin de l'opération. Telle est la remarque qui sert de base au procédé de Gay-Lussac pour le titrage alcoolique des vins. Il s'agit de savoir quel est le volume d'alcool pur contenu dans un vin qui est un mélange d'alcool, d'eau et de diverses substances en dissolution. On soumet le vin à la distillation dans un petit alambic spécial (fig. 114) et on arrête la distillation quand le tiers du liquide a

passé. On ajoute alors de l'eau distillée de manière à reproduire le volume primitif et on détermine la proportion d'alcool dans ce mélange (le titre) à l'aide de l'alcoomètre centésimal, ce qu'on ne pouvait faire avant, parce que les substances dissoutes dans le vin modifiaient son poids spécifique.

CHAPITRE VI

SOURCES DE CHALEUR ET DE FROID. CHALEUR ANIMALE.

306. **Sources de chaleur et de froid.** — Nous avons étudié dans les chapitres précédents les effets physiques produits par l'action des variations de quantités de chaleur, laissant à part les effets chimiques qui ressortissent plus naturellement au cours de chimie. Il importe maintenant de chercher quelles sont les conditions qui sont capables de produire ces variations : c'est là ce qu'on appelle l'étude des sources de chaleur et de froid.

Cette étude comprend, en réalité, la recherche des conditions qui amènent une variation en plus ou en moins des quantités de chaleur ; c'est la variation en moins qui correspond à la notion de source de froid, notion qui n'a pas de sens réel, puisque le froid n'est pas un agent particulier et n'a pas une cause spéciale.

Les causes qui, sur notre globe, produisent des variations de chaleur, en plus ou en moins, peuvent se diviser en deux groupes : les unes sont extra-terrestres, c'est l'action du soleil pour les accroissements de chaleur, le rayonnement céleste pour les pertes de chaleur ; nous ne nous occuperons pas maintenant et leur étude est renvoyée au chapitre des radiations ; les autres sont terrestres : ce sont les seules que nous ayons à étudier actuellement.

Les sources de chaleur de ce dernier groupe, c'est-à-dire les conditions qui amènent un dégagement de chaleur sont : les actions chimiques, les actions moléculaires, les actions mécaniques, les actions électriques et les actions dues à la présence des êtres vivants. Nous traiterons à part à la fin de ce chapitre les questions qui se rapportent à cette dernière cause et nous nous occuperons d'abord des autres en commençant par l'étude des sources de chaleur.

307. **Sources de chaleur.** — Il importe de remarquer que pour qu'un corps A soit une source de chaleur pour un corps B, il ne suffit pas que A subisse une action qui dégage de la chaleur, il faut encore que ce dégagement se produise dans des conditions où la chaleur de A puisse être transmise à B ; un kilogramme d'eau en se congelant dégage

80 calories, mais on ne pourrait utiliser cette action pour élever la température d'un corps qui serait à 10° par exemple : au contact de ce corps, l'eau ne se congèlerait pas et, par suite, n'abandonnerait pas de chaleur. Pour que la chaleur puisse être transmise à B, il faut que ce corps soit à une température inférieure à celle de A, ou bien il faut que l'action subie par A se produise *nécessairement* à toute température : s'il se dégage de la chaleur, elle aura d'abord pour effet d'élever la température de A, et lorsque celle-ci sera égale à celle de B, l'action continuant, la chaleur produite pourra, au moins en partie, être transmise à B. On refoule, par exemple, de la vapeur à 50° dans un vase contenant un corps à 60°; dès que la vapeur aura dépassé le degré de saturation, elle se condensera en abandonnant de la chaleur, mais cette chaleur élèvera d'abord la température du liquide formé, et ce n'est que lorsque celui-ci sera à 60° que la chaleur de condensation échauffera B.

Un corps chaud placé dans le voisinage ou au contact d'un autre corps à une température moins élevée peut fournir de la chaleur à ce dernier par radiation ou par conduction. Nous ne considérerons pas cependant ce corps chaud comme étant une source de chaleur, la cause des phénomènes observés, c'est l'action qui, antérieurement, a amené ce corps à la température qu'il présente.

308. Actions chimiques. — Les actions chimiques sont une des sources directes de chaleur qu'on rencontre le plus fréquemment; c'est à elles que se rattachent les effets dus à l'emploi des corps combustibles.

Un corps combustible est, à proprement parler, un corps qui peut se combiner à l'oxygène de l'air. A ce point de vue général, le soufre, le phosphore seraient des combustibles; mais nous ne nous occuperons que des corps qui peuvent être utilisés dans la pratique, et tel n'est pas le cas pour le soufre et le phosphore.

Les corps combustibles dont nous avons à parler sont dès lors en petit nombre : les combustibles végétaux, tels que le bois, les combustibles minéraux comme la houille, l'anthracite, le pétrole, les combustibles gazeux, presque toujours artificiels, comme l'hydrogène et le gaz d'éclairage.

Tous ces corps possèdent une propriété commune, c'est que par leur combinaison avec l'oxygène, ils mettent en liberté de la chaleur; ce sont, suivant l'expression introduite par M. Berthelot, des combinaisons exothermiques. Mais si ces combinaisons dégagent de la chaleur lorsqu'elles ont lieu, il faut des conditions spéciales pour qu'elles se manifestent, et parmi celles-ci on peut indiquer comme la plus importante, la température. Ces combustions, en effet, n'ont pas lieu en réalité à la température ordinaire; elles se produisent au contraire lorsque la température des corps en présence a atteint une valeur déterminée, supérieure à la température ordinaire. Cette remarque est évidente, car s'il n'en était

pas ainsi, ces combustions se feraient spontanément, et les combustibles seraient brûlés depuis longtemps.

Cependant on sait qu'on peut provoquer l'inflammation d'un corps combustible par l'approche d'un corps enflammé de petites dimensions dont l'action ne peut être telle qu'elle amène la masse du combustible à la température nécessaire. Aussi bien, n'est-ce pas ainsi que l'action se produit : considérons par exemple un mélange d'oxygène et d'hydrogène dont on approche une allumette enflammée. Cette allumette portera à une température suffisante pour provoquer la combinaison, la petite masse de gaz avec laquelle elle est immédiatement en contact; la combinaison se produit et dégage une certaine quantité de chaleur qui échauffe les parties avoisinantes et les amène à leur tour à une température suffisante pour la combinaison; celles-ci, se combinant, produisent un effet analogue pour les parties voisines et l'inflammation se propage de proche en proche.

Aussi une partie de la chaleur produite par la combustion, par la combinaison, ne sera pas mise en liberté directement, mais sera utilisée pour produire l'élévation nécessaire de température des corps qui se combinent : il est vrai que, le composé formé se trouvant à cette température, rendra ultérieurement cette chaleur en revenant à la température ordinaire.

309. — Si au lieu de considérer les corps combustibles tels qu'ils se présentent à nous dans la pratique, nous cherchons leur origine; si nous cherchons à quoi est due leur combustibilité, nous arrivons à une constatation intéressante. On sait, par exemple, que si les végétaux tirent du sol et, partiellement, de l'atmosphère, les éléments qui les constituent, ils ne peuvent croître normalement que sous l'action des radiations solaires qu'ils emmagasinent, qu'ils absorbent, de telle sorte que la chaleur qu'ils dégagent par la combustion a pour origine ces radiations solaires; que ces végétaux ont accumulé, à l'état d'énergie potentielle, l'énergie émanée du soleil sous forme de radiation et que la combustion a pour effet de faire apparaître celle-ci sous forme d'énergie actuelle.

Il ne paraît pas douteux que la houille ne soit due à la transformation, dans des conditions encore mal définies, de végétaux ayant vécu à des époques anciennes. Sans que nous puissions absolument l'affirmer, il est au moins très vraisemblable que ces végétaux, comme les végétaux actuels, n'ont pu se développer que sous l'influence des radiations solaires, de telle sorte que, par la combustion de la houille, nous ne ferions qu'utiliser l'énergie de ces radiations accumulées sous forme potentielle depuis de longs siècles.

Il en est naturellement de même du coke et du gaz d'éclairage qui sont extraits de la houille. Sans doute, il en est aussi ainsi des carbures d'hydrogène comme les pétroles : quoique leur origine géologique ne

soit pas bien connue, il est probable qu'elle dépend de réactions produites au sein du globe sur des matières végétales.

Quoiqu'il s'agisse là de sources artificielles de chaleur dans leur emploi actuel, on voit que la véritable origine de cette chaleur est encore extra-terrestre.

Quant à la chaleur due à la combustion de l'hydrogène, elle est due directement à l'action chimique; si nous recherchons l'origine indirecte en examinant les conditions dans lesquelles est produit ce gaz, on voit qu'elle est variée. Tantôt, l'hydrogène est dû à la décomposition de la vapeur d'eau par l'action du fer ou du charbon portés au rouge et c'est alors au combustible utilisé pour amener cet état calorifique que nous sommes obligés de remonter, c'est-à-dire indirectement aussi, à l'action solaire; tantôt la production de l'hydrogène est due à l'action d'un acide sur un métal, tel que le fer et le zinc; mais le fer et le zinc n'existent pas à l'état de liberté, et c'est encore à l'action de la chaleur qu'il faut avoir recours pour les obtenir à cet état et l'origine indirecte de la chaleur dégagée est encore l'action solaire; tantôt enfin la production de l'hydrogène est due à l'électrolyse; mais, comme nous le dirons tout à l'heure, les courants qui donnent naissance à cet effet ont aussi comme origine indirecte l'action solaire.

310. — La détermination de la quantité de chaleur due aux actions chimiques a fait l'objet de nombreuses études et notamment elle est la base, sinon d'une science nouvelle, au moins d'une importante partie de la chimie, la thermo-chimie que M. Berthelot a créée et sur laquelle nous n'avons pas à insister. Il nous suffit ici de donner quelques indications sur le dégagement de chaleur produit par la combustion des corps qui sont pratiquement utilisés.

La mesure des quantités de chaleur mise en liberté par la combustion des corps combustibles, qui a été faite par divers physiciens depuis Rumford, dépend de la calorimétrie.

Si au point de vue des opérations propres à donner un résultat précis, cette mesure est délicate, son principe est fort simple: il suffit, en effet, de placer dans un calorimètre quelconque un poids p du combustible considéré et de déterminer la quantité q de chaleur dégagée; le quotient de q par p donne la quantité de chaleur dégagée par unité de poids du combustible, nombre qui caractérise la valeur pratique de ce corps. On a obtenu ainsi notamment les nombres suivants qui représentent, évaluées en calories, les quantités de chaleur dégagée par la combustion de 1 kilogramme du corps considéré.

Hydrogène	34 400°	Bois.....	2 500 à 2 900
Charbon de bois.....	8 080	Tourbe.....	3 000 à 3 700
Graphite.....	7 796	Houille.....	7 300 à 8 600
Diamant.....	7 770	Coke.....	7 000 à 7 500
Soufre.....	2 220	Pétrole.....	8 900
Oxyde de carbone.....	2 403	Gaz d'éclairage...	11 180
Alcool.....	7 183	Huile.....	9 000 (?)
Hydrogène protocarboné..	13 063	Suif.....	8 350 (?)
Hydrogène bicarboné....	11 857	Cire blanche.....	9 480 (?)

311. **Changements d'état.** — Les actions moléculaires peuvent dégager de la chaleur ainsi que nous l'avons déjà dit, soit qu'il s'agisse d'un changement d'état, soit qu'il s'agisse d'actions moléculaires.

Le passage d'un corps liquide à l'état solide, le passage d'un corps gazeux à l'état liquide mettent de la chaleur en liberté: nous avons indiqué sommairement comment, dans la pratique, cette propriété a été utilisée pour le chauffage à la vapeur. On pourrait utiliser d'autres vapeurs que celle de l'eau, mais jusqu'à présent la vapeur d'eau seule a servi effectivement.

La quantité de chaleur dégagée dans ces conditions a été déterminée, c'est la chaleur de vaporisation.

Il importe de remarquer que, à une température déterminée, l'eau, par exemple, n'existe à l'état de vapeur que dans des proportions telles qu'elle ne tend pas à passer à l'état liquide, et qu'il faut qu'elle ait été amenée à une température supérieure, de telle sorte que, par sa condensation, elle ne fait que rendre la chaleur qui lui a été fournie par un autre procédé. Elle sert pour ainsi dire d'accumulateur rendant à un autre instant ou dans un autre lieu la chaleur qu'elle a reçue.

Le passage de l'état liquide à l'état solide par solidification n'a pas été utilisé: la solidification de l'eau pourrait être employée, mais ce changement, ayant lieu à 0°, ne serait intéressant que dans le cas où le corps sur lequel on voudrait agir serait à une température inférieure, et ce cas ne se présente pas pratiquement.

312. — Nous ne croyons pas qu'on ait utilisé le dégagement de chaleur produit par la solidification d'un autre corps, c'est-à-dire que par le passage de ce corps de l'état liquide proprement dit à l'état solide. Mais on a employé une action analogue, le passage d'un solide de l'état de dissolution à l'état solide. Nous avons dit que, en général, un solide en se dissolvant absorbe de la chaleur, et que la quantité de solide dissous augmente quand la température s'élève. Lorsque, par contre, la température s'abaisse, une partie du solide cesse d'être dissous et son retour à l'état solide est accompagné d'un dégagement de chaleur: pour une cause constante de refroidissement, l'abaissement de température est donc ralenti par la chaleur ainsi mise en liberté. Si même le solide avait été amené à l'état de sursaturation (127) à une température déterminée, il pourrait arriver

que cette température fût maintenue constante malgré les causes de refroidissement.

C'est sur ce fait du dégagement de chaleur dû à la précipitation d'un solide dissous dans un liquide qu'est basé l'emploi des bouillottes à l'acétate de sodium. Les bouillottes consistent en un récipient métallique entièrement clos contenant de l'eau et de l'acétate de sodium; on le plonge dans un bain d'eau à l'ébullition ou au moins à une température voisine de 100° : le sel se dissout, et après un temps qui dépend des dimensions de l'appareil, la dissolution est complète; on retire la bouillotte qui, abandonnée à l'air, se refroidit lentement et conserve pendant un long temps une température constante. Le refroidissement est beaucoup plus lent que celui d'un vase de mêmes dimensions et contenant de l'eau pure qui aurait été porté à la même température; c'est que, en effet, outre le dégagement de chaleur dû au refroidissement de l'eau et qui est le même dans les deux cas, il y a le dégagement de chaleur mise en liberté par le changement d'état du sel.

On voit d'ailleurs qu'il n'y a pas, à proprement parler, production de chaleur, mais restitution de la chaleur qui avait été fournie antérieurement : l'appareil fonctionne comme un accumulateur.

Bien que d'autres actions moléculaires soient également susceptibles de dégager de la chaleur, elles ne sont pas utilisées.

313. Actions mécaniques. — Les actions mécaniques peuvent dégager de la chaleur par la transformation du travail mécanique : les exemples sont nombreux et nous en avons cités, mais il y a peu d'applications pratiques qui doivent être signalées. Nous indiquerons cependant le procédé employé par certaines peuplades sauvages pour se procurer du feu par le frottement rapide de morceaux de bois sec; c'est d'ailleurs par la même action que nous parvenons à enflammer une allumette. De même aussi l'inflammation des matières explosives dans les armes à feu est le résultat d'un choc, d'une action mécanique.

Mais si les actions mécaniques sont directement la cause du dégagement de chaleur, elles n'en sont pas toujours la véritable origine, et il importe de rechercher ce qui a donné naissance à ces actions mécaniques. Dans certains cas, elles résultent, en réalité, d'une action chimique, d'une combustion, ainsi qu'il arrive dans toutes les machines à vapeur et les machines à gaz; on est alors ramené à un cas précédent.

Dans d'autres cas, l'action mécanique qui produit le dégagement de chaleur est due à la pesanteur : c'est un corps qui tombe d'une certaine hauteur, c'est un courant, une chute d'eau qui agissent sur une roue hydraulique. Ici nous trouvons une cause différente de celles que nous avons indiquées, la pesanteur, l'attraction universelle qui produit la chute des corps. Mais, si c'est la pesanteur qui agit, son action ne peut se manifester que dans des conditions déterminées; il faut que le corps sur

lequel elle agit ait été élevé au-dessus de la position qui correspond à son équilibre de manière que, retombant, il acquière une certaine vitesse et possède une certaine force vive : un corps en équilibre, soumis à l'action de la pesanteur, ne transmet pas de chaleur au corps sur lequel il s'appuie. Or l'élévation d'un corps, condition essentielle, est due soit à l'action d'un moteur mécanique, ce qui nous ramène au cas précédent, soit à l'action directe de la chaleur solaire s'il s'agit de l'eau des rivières qui est amenée à l'état de vapeur, par cette action, des points bas où elle se réunit aux points hauts, soit à l'action d'êtres vivants dont nous parlerons plus loin.

Enfin, les actions mécaniques qui produisent un dégagement de chaleur peuvent être encore l'action du vent agissant par sa vitesse; mais les courants d'air qui prennent naissance reconnaissent pour cause, d'une part, la dilatation par l'action de la chaleur solaire, d'autre part la pesanteur; nous retrouvons donc encore les mêmes causes.

314. Actions électriques. — Enfin, les phénomènes électriques, étincelles ou courants sont aussi susceptibles de dégager de la chaleur; mais ces phénomènes, comme nous le verrons plus loin, ne sont point des actions primitives; ils résultent soit d'actions calorifiques directes (actions thermo-électriques), soit d'actions mécaniques (machines d'induction), ce qui nous ramène au cas précédent, soit d'actions chimiques (piles hydro-électriques). Cette action chimique est presque toujours absolument l'attaque d'un métal, du zinc, et comme nous l'avons dit déjà, ce métal n'existe pas à l'état de liberté et sa préparation exige l'emploi de combustible.

On voit donc que, laissant à part les êtres vivants, si nous cherchons l'origine première des phénomènes qui produisent un dégagement de chaleur, nous voyons qu'elle se réduit à trois causes distinctes : l'action solaire, les actions moléculaires, l'action de la pesanteur. D'ailleurs ces deux dernières causes, qui ont une analogie réelle, puisque la pesanteur est le résultat des actions attractives des molécules de la terre sur les molécules des corps, ne peuvent produire de la chaleur, en dégager, que si elles rencontrent des conditions dont la réalisation est due, le plus souvent, directement ou indirectement à l'action des radiations solaires.

315. Sources de froid. — Étudions maintenant les sources de froid, c'est-à-dire les causes qui appliquées à un corps amènent un refroidissement; il ne suffit pas d'avoir un phénomène qui absorbe de la chaleur, en général, il faut qu'il en absorbe *nécessairement* dans les conditions où se trouve le corps considéré. La fusion d'un kilogramme de glace absorbe 80 calories, quand elle a lieu; mais on ne peut utiliser cette action pour refroidir un corps dont la température serait de — 5° par exemple, parce que, à cette température, la glace ne fond pas.

Le contact d'un corps avec un corps plus froid amène par transmission

directe de la chaleur le refroidissement du premier : il y a conduction ou convection suivant les cas et nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit. S'il y a seulement voisinage le refroidissement se produit par convection. Mais ce n'est pas là, en réalité, une source de froid, car celle-ci est la cause qui a refroidi le corps qui agit par sa basse température.

Les causes du refroidissement des corps qui agissent en dehors des actions extra-terrestres sont d'ordre chimique, physique ou mécanique.

Certaines réactions chimiques ne peuvent se produire que si on fournit de la chaleur aux corps entre lesquels elles ont lieu : ce sont les réactions endothermiques ; elles ne peuvent être utilisées pour le refroidissement parce qu'elles ne sont pas *nécessaires* ; si on leur fournit la chaleur elles ont lieu en absorbant cette chaleur sans élévation de température, mais elles ne se produisent pas spontanément.

Elles ne sont pas utilisées pratiquement.

316. — Les changements d'état peuvent être accompagnés d'absorption de chaleur et produire le refroidissement ; mais suivant les cas ce refroidissement peut avoir toujours lieu ou au contraire n'avoir lieu que dans des conditions déterminées, à partir d'une certaine température.

Ainsi le passage de l'état solide à l'état liquide par fusion absorbe de la chaleur ; mais il ne peut servir à refroidir un corps que si celui-ci est à une température supérieure au point de fusion : la glace, par exemple, ne peut être utilisée que pour refroidir les corps dont la température est supérieure à 0°.

Au contraire, lorsqu'on met un solide en présence d'un liquide qui peut le dissoudre, la dissolution, qui absorbe de la chaleur, a lieu nécessairement, quelle que soit la température, au moins dans les limites où l'on a fait des expériences. Donc la dissolution peut servir à refroidir un corps à une température quelconque ; malheureusement, en général, la quantité de chaleur absorbée est faible et, par suite, le refroidissement obtenu n'est pas très considérable.

Si, par un procédé quelconque, on provoque la fusion d'un solide à une température inférieure à son point normal de fusion, l'action pourra être utilisée à refroidir un corps jusqu'à cette température de fusion accidentelle. C'est là ce qui se produit dans le cas des mélanges réfrigérants où l'on emploie de la glace, par exemple dans le mélange de sel marin et de glace ; à cause de la présence de la solution de ce sel dans l'eau de fusion, et pour des raisons que nous ne pouvons développer, la glace ne peut rester à l'état solide que pour des températures inférieures à — 15° environ ; elle entrera donc en fusion, en absorbant de la chaleur, 80 calories par unité de poids, l'eau de fusion dissoudra le sel, nouvelle cause d'absorption de chaleur et pour ces deux raisons la température des corps mis en contact avec ce mélange s'abaissera, sans pouvoir naturellement descendre au-dessous de — 15°.

317. — Le passage de l'état liquide à l'état gazeux absorbe de la chaleur (chaleur de vaporisation) ; mais de plus, il est nécessaire, il a lieu à toute température tant que l'espace qui surmonte le liquide n'est pas saturé. Ce changement d'état est donc susceptible de toujours produire le refroidissement et l'action se continuera, la température s'abaissera constamment si l'on a soin d'empêcher que l'espace surmontant le liquide ne se sature pas. Seulement l'action refroidissante diminue quand la température s'abaisse parce que l'évaporation est moins rapide dans ces conditions (287).

Nous avons déjà signalé des exemples de refroidissement dû à l'évaporation ; nous n'insisterons pas.

Il faut remarquer que, dans quelques cas, les conditions qui amènent l'évaporation et par suite le refroidissement sont obtenues artificiellement. C'est ce qui arrive dans le cas de l'appareil Carré à faire la glace et des appareils réfrigérants Pictet (290). Dans le premier, l'ammoniaque est amenée à l'état liquide après avoir été dégagée de sa dissolution par l'action de la chaleur ; dans les appareils Pictet, l'acide sulfureux est liquéfié par l'action de pompes foulantes mues généralement par une machine à vapeur, de telle sorte que la condition du fonctionnement de ces appareils qui amènent le refroidissement, c'est la production de chaleur.

Il importe de remarquer que quoique, pendant l'ébullition, le liquide doit absorber de la chaleur, ce phénomène ne peut être par lui-même une source de refroidissement, puisqu'il n'est pas nécessaire à une température déterminée et ne se produit que si on fournit une quantité suffisante de chaleur au liquide.

318. — Enfin la production de travail mécanique peut être une cause non seulement d'absorption de chaleur, mais aussi de refroidissement : c'est notamment dans la détente des gaz que ce genre d'action se manifeste le plus nettement et c'est sur ce phénomène que sont basées les principales applications.

Si l'on chauffe de l'eau sous pression dans un autoclave, la température est supérieure à 100° et on peut vérifier qu'il en est ainsi en mettant le réservoir d'un thermomètre à la sortie du jet de vapeur ; mais à quelque distance la température est notablement abaissée, et l'on peut mettre la main dans le jet de vapeur sans se brûler et en éprouvant seulement une légère sensation de chaleur.

Dans cette expérience, la vapeur en s'échappant et en se dilatant dans l'air, en se détendant suivant l'expression consacrée, a dû produire un travail mécanique pour vaincre la pression atmosphérique et la production de ce travail correspond à la transformation d'une certaine quantité de chaleur, d'où le refroidissement.

Cette action de refroidissement dû à la détente des gaz est très mar-

quée dans les moteurs mus à l'air comprimé; nous signalerons seulement, sans insister, le fait que les tuyaux qui sont parcourus par l'air se recouvrent rapidement de givre par suite de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère et de sa solidification.

C'est sur ce principe que sont basés maintenant un grand nombre de machines réfrigérantes destinées soit à produire de la glace, soit à assurer le maintien, à une basse température, d'étuves frigorifiques dans lesquelles on place les aliments que l'on veut conserver.

Enfin c'est également en appliquant ce même principe que M. Cailletet a construit l'appareil qu'il a appelé le *cryogène*; cet appareil se compose essentiellement d'un vase à double paroi dans lequel on a introduit un serpentín dont l'extrémité supérieure est en dehors et peut être reliée à un réservoir en fer forgé contenant de l'acide carbonique liquide. L'espace compris entre les deux parois qui n'est pas occupé par le serpentín est rempli d'alcool. Lorsqu'on établit la communication entre le réservoir et le serpentín, un jet de liquide s'échappe, se vaporise et se détend en produisant un refroidissement considérable qui fait passer l'acide carbonique à l'état de neige et abaisse la température de l'alcool et par suite celle de l'espace compris dans la partie centrale du vase qui peut être amené ainsi à -70° .

L'appareil tout entier est placé dans une caisse et entouré d'ouate ou d'étoupe pour empêcher l'action réchauffante de l'air.

319. Chaleur animale. — Les êtres inorganisés, roches et minéraux, tendent à se mettre à chaque instant en équilibre de température avec l'air ambiant: ils s'y mettraient effectivement si l'air conservait pendant un certain temps une température invariable. Mais ces corps sont en général assez mauvais conducteurs de la chaleur, de telle sorte que les effets ne sont pas instantanés et que leurs variations de température suivent avec un certain retard les variations de la température de l'air et sans atteindre jamais les valeurs extrêmes, maximum ou minimum, à moins que ces variations ne soient très lentes. A chaque instant, d'ailleurs, la différence est d'autant moindre que le corps considéré a une plus faible masse et une meilleure conductibilité.

Les effets sont à peu près analogues pour les végétaux qui le plus souvent suivent, avec un certain retard, les variations de température de l'air ambiant. Cependant dans des circonstances particulières, à l'époque de la floraison par exemple, on peut observer une température supérieure à celle de l'atmosphère; on a signalé également une élévation de température lors de la germination des graines.

Dans un grand nombre d'animaux qui vivent soit dans l'air, soit dans l'eau, on a observé des effets analogues; c'est-à-dire que ces animaux ont en général une température égale à celle de l'air ambiant ou tout au moins en différant très peu, tout en lui étant supérieure. Ainsi on a trouvé

pour divers animaux les excès de température suivants sur le milieu dans lequel ils vivent: Grenouille, de $0^{\circ},32$ à $4^{\circ},44$; Léopard, de $0^{\circ},21$ à $8^{\circ},12$; Tortue, de $0^{\circ},90$ à $3^{\circ},90$; Carpe, de $0^{\circ},86$ à 3° ; Truite, de $0^{\circ},55$ à $1^{\circ},40$; Hanneton, de $0^{\circ},25$ à $1^{\circ},77$; Escargot, $0^{\circ},90$; Holothurie $0^{\circ},50$; Ascidie, $0^{\circ},25$.

Mais l'observation montre immédiatement que les oiseaux et les mammifères sont dans de tout autres conditions et que, dès que l'air se rafraîchit, la température de ces êtres est supérieure à celle de l'atmosphère. C'est d'ailleurs ce que montrent des mesures précises, comme nous le dirons tout à l'heure.

Cette différence entre les oiseaux et les mammifères d'une part, et les autres êtres vivants d'autre part, a conduit à établir une distinction et à diviser les animaux en animaux à sang chaud et animaux à sang froid, reportant ainsi, comme cela est en réalité, à l'action du sang la cause des différences observées.

Tout en conservant la même division, on reconnut bientôt que la dénomination adoptée ne représentait pas la différence réelle, qui consiste en ce que les uns se mettent en équilibre de température avec le milieu ambiant, tandis que les autres, au point de vue de l'état calorifique, ne sont pas dépendants de cette température. Aussi divise-t-on maintenant, à ce point de vue, les animaux en animaux à température variable et animaux à température invariable. Nous nous occuperons spécialement de ces derniers.

320. Température de l'homme. — L'étude des questions relatives aux animaux considérés au point de vue des phénomènes calorifiques se divise essentiellement en trois parties: d'une part, la constatation de la température et des modifications qu'elle peut présenter suivant les conditions extérieures, suivant l'état de l'animal; d'autre part, l'étude des quantités de chaleur mises en jeu et de leurs variations; enfin la recherche des causes auxquelles on peut attribuer les effets observés.

La constatation de la température n'exige que l'emploi d'un thermomètre sensible, thermomètre ordinaire s'il s'agit de déterminer la température d'une cavité, bouche, rectum, vagin ou d'un espace constituant une partie close comme le creux de l'aisselle; s'il s'agit de déterminer la température d'une partie superficielle, il faut faire usage d'un thermomètre de contact.

Des mesures effectuées dans diverses circonstances montrent que les températures déterminées en différents points du corps ne sont pas égales: des différences de plus de 2° ont été signalées. Aussi ne peut-on pas baser une étude sérieuse sur ces températures.

La température des cavités présente de moindres différences: ainsi chez l'homme, la température du rectum ne varie guère que de $37^{\circ},7$ à 38° dans l'état de santé; celle du vagin de $37^{\circ},3$ à $37^{\circ},8$; celle de l'ais-