

Ces résultats ne sont pas sans importance. Dans un certain nombre de cas où l'on fait agir l'eau bouillante sur des corps, notamment pour la cuisson des aliments, les actions cessent de se produire efficacement lorsque la température est trop abaissée.

Il va sans dire que, dans les mines où la pression atmosphérique est supérieure à 76 centimètres, le point d'ébullition est élevé au-dessus de 100°; mais les différences ne sont jamais bien considérables, car la variation de pression n'est pas très grande.

Le fait que la température d'ébullition varie avec l'altitude a permis d'employer la détermination de cette température en un point pour évaluer son altitude. On peut, en effet, connaissant le point d'ébullition, trouver par la table des tensions la pression correspondante; la formule barométrique (76) permet alors de calculer l'altitude. Mais il est plus

simple d'avoir fait ces calculs à l'avance et d'avoir dressé une table donnant l'altitude directement en regard de la température d'ébullition. Une courbe peut, bien entendu, remplacer cette table. Disons enfin que l'étude de la table montre que, tant qu'il ne s'agit que d'altitudes qui ne sont pas trop considérables, en appelant z l'altitude du point considéré au-dessus du niveau de la mer et t le point d'ébullition observé, on a sensiblement :

$$z = 294^m (100 - t).$$

Pour faire ces observations on se sert d'un thermomètre dit *hypsométrique* qui contient l'échelle seulement de 80 à 110° par exemple, mais qui est divisé en fractions de degré, de manière à permettre les lectures avec précision. L'observation est d'ailleurs commode puisqu'il suffit de placer le thermomètre D (fig. 110) dans un vase A contenant de l'eau qu'on fait bouillir à l'air libre, et notant le point où s'arrête le mercure. La température restant constante lorsque l'ébullition a commencé, on peut

réitérer la lecture comme vérification.

298. — On peut produire l'ébullition d'un liquide en vase clos, à telle température que l'on veut, pourvu que celle-ci soit supérieure à leur point de solidification et inférieure à la température qui amènerait la décomposition chimique, en produisant et maintenant dans le vase une pression convenable déterminée d'après la table des tensions. Bien entendu, pour que l'action puisse continuer, il faut enlever les vapeurs au fur et à

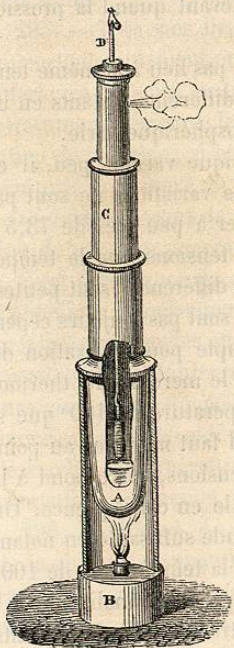


Fig. 110.

mesure de leur formation, car sans cela la pression irait en croissant.

C'est ainsi que, en mettant de l'eau sous une cloche dans laquelle on raréfie l'air à l'aide de la machine pneumatique, on peut faire bouillir l'eau à la température ordinaire.

C'est d'une manière analogue que l'on opère lorsqu'on veut faire bouillir un liquide qui se décompose facilement par l'action de la chaleur : on produit alors l'ébullition à basse température, c'est-à-dire sous une faible pression.

Lorsqu'on veut produire l'ébullition d'un liquide au-dessus de la température normale d'ébullition, il n'est pas nécessaire d'augmenter artificiellement la pression; il suffit de chauffer le liquide en vase clos : les vapeurs qui se produisent alors, par l'évaporation puis par l'ébullition, élèvent progressivement la pression qui surmonte le liquide et, par suite, le point d'ébullition. Il n'est pas nécessaire, non plus, d'adapter un appareil pour enlever les vapeurs en excès au fur et à mesure de leur formation; il suffit de les laisser échapper dans l'atmosphère en vertu même de leur excès de pression, et pour que cet échappement ne se produise que lorsque la pression a atteint la valeur qui détermine le point d'ébullition que l'on veut obtenir, il suffit d'adapter à l'ouverture d'évacuation une soupape munie d'un ressort ou d'un levier chargé de poids qui ne puisse s'ouvrir que quand la pression désignée est atteinte ou dépassée.

Tel est le principe de toutes les chaudières à vapeur, dans lesquelles on a pour but soit d'atteindre une pression déterminée, comme il arrive pour alimenter les moteurs à vapeur, soit d'amener un espace clos à une température déterminée supérieure à 100°, comme dans les étuves à désinfection sous pression qui sont maintenant en usage pour assainir les vêtements et les objets de literie ayant appartenu à des personnes atteintes de maladies contagieuses, une haute température étant nécessaire pour tuer certains microbes ou certains spores.

Tel est aussi le principe des autoclaves (fig. 111) qui sont usités dans les laboratoires de chimie et dans l'industrie pour produire certaines réactions qui n'ont lieu au contact de l'eau qu'à une température supérieure à 100°.

Ce sont aussi des appareils du même genre qui sont employés pour désinfecter et aseptiser les instruments de chirurgie en détruisant d'une manière certaine tous les germes de contamination.

299. — L'ébullition ne se produit pas toujours régulièrement, et à la pression ordinaire il peut arriver qu'un liquide puisse être amené à une température supérieure à la température normale d'ébullition. M. Donny

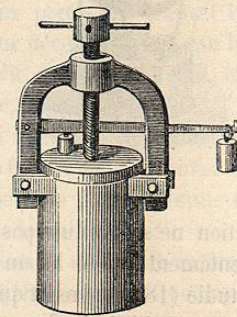


Fig. 111.

et divers autres observateurs ont montré, en effet, que pour que l'ébullition se produise régulièrement, il faut qu'il y ait des gaz dans le liquide, soit que ces gaz s'y trouvent en dissolution, soit qu'ils soient condensés sur la paroi du vase en contact avec le liquide ou sur des solides plongés dans celui-ci.

Si dans un vase dont les parois ont été soigneusement lavées, débarrassées par des lavages de toute couche d'air et de toute matière étrangère pouvant renfermer des gaz, on verse de l'eau privée d'air par une ébullition récente, on peut élever la température jusqu'à 115° sans que l'ébullition se produise. Elle se produit immédiatement si par un procédé quelconque on amène quelques bulles de gaz au sein du liquide, et la température redescend aussitôt à 100°.

En opérant sur une petite goutte d'eau privée d'air et suspendue au sein d'un liquide de même poids spécifique, de manière à éviter tout contact avec la paroi, M. Dufour, de Lausanne, a pu élever la température jusqu'à 178° sans produire l'ébullition.

Ces faits se présentent assez rarement dans la pratique; il est bon cependant d'être informé de leur existence.

300. **Caléfaction.** — Il est un autre cas qui paraît, au premier abord, faire exception à la loi de l'ébullition; mais comme nous le verrons, ici l'exception n'est qu'apparente.

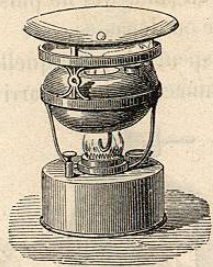


Fig. 112.

Si, sur une plaque chauffée vers 100 ou 120°, on vient à projeter une goutte d'eau (fig. 112), elle entre en ébullition dès qu'elle touche le métal, s'agite violemment en produisant un sifflement et disparaît rapidement.

Si on recommence l'expérience avec une plaque chauffée au-dessus de 140°, on voit que, contrairement à ce qu'on aurait pu penser, l'ébullition ne se produit pas, la bulle se déplace en tournoyant et disparaît

lentement. C'est là un phénomène de *caléfaction*; Boutigny qui l'a étudié (1826) pensait que le liquide jouissait alors de propriétés particulières, qu'il était dans un *état* spécial auquel il donna le nom d'*état sphéroïdal*; nous allons voir qu'il n'est pas nécessaire de faire une hypothèse de ce genre.

L'ébullition ne se produit pas dans ce cas, simplement parce que l'eau n'est pas à la température d'ébullition; on l'a vérifié en introduisant dans une goutte en caléfaction le réservoir d'un petit thermomètre qui a indiqué seulement une température de 96°. Il n'y a donc pas exception à la loi de l'ébullition.

Il faut dès lors se rendre compte de la raison pour laquelle le liquide n'atteint pas la température de 100° alors que, dans l'expérience précé-

dente, où le support était moins chaud, cette température se produisait et amenait nécessairement l'ébullition. La différence est que, dans ce dernier cas, le liquide est en contact avec le solide et qu'il y a propagation de la chaleur par conduction, tandis que dans le cas de la caléfaction la chaleur se propage seulement par radiation: le liquide, en effet, ne touche pas le solide, comme il est facile de s'en assurer par diverses expériences et notamment en vérifiant qu'en mettant l'œil au niveau du support on voit entre celui-ci et la goutte, une flamme qu'on a placée à l'opposé. Il y a alors moins de chaleur transmise et les vapeurs se forment par évaporation, non par ébullition.

Il est moins facile d'expliquer pourquoi la goutte ne touche pas le support et nous n'insisterons pas; mais le fait existe et il rend compte du reste de l'expérience.

La caléfaction se produit non seulement pour l'eau, mais pour d'autres liquides; pour chacun d'eux, l'effet se produit à une température particulière.

Il n'est pas non plus nécessaire que le support soit solide et, avec quelques précautions, on parvient à obtenir la caléfaction de l'éther sur de l'eau chauffée à 80°.

301. — C'est par la caléfaction que s'explique la curieuse expérience suivante: dans un creuset rougi au feu, on verse avec une pipette de l'eau et du gaz sulfureux liquide. En retournant le creuset au bout de quelques instants, on fait tomber un glaçon: l'eau s'est congelée.

Voici ce qui se passe dans ce cas: le gaz sulfureux liquide passe à l'état de caléfaction et sa température est inférieure à son point d'ébullition, — 45°; mais il s'évapore rapidement: les parois du creuset lui fournissent par radiation une partie de la chaleur nécessaire, et l'eau lui fournit le reste par conduction. L'eau se refroidit donc rapidement, car l'évaporation est active, et elle arrive bientôt à 0°, puis se congèle.

C'est par suite d'un phénomène de caléfaction que, dans les fonderies, les ouvriers plongent le doigt dans la fonte en fusion sans éprouver de brûlure: il n'y a pas contact entre le métal fondu et la peau par suite de la présence d'une couche de liquide qui recouvre le doigt.

C'est aussi la caléfaction qui donne l'explication d'un fait intéressant que nous croyons devoir rapporter. Ferrier (1883) dit que, par suite d'un accident, du plomb fondu fut projeté à la figure d'une personne: on craignait que les yeux ne fussent atteints, on n'observa cependant que de l'hyperhémie de la conjonctive et un point de celle-ci dépoli à la partie inférieure de la conjonctive. En réalité le plomb avait bien atteint les yeux, car en explorant ceux-ci quelques jours plus tard, on trouva d'un côté au fond du sinus conjonctival inférieur et près de la caroncule lacrymale deux fragments pesant l'un 12 milligrammes, l'autre 45 milligrammes. Dans l'autre œil qui n'avait rien présenté de particulier, on trouva aussi un morceau de 40 milligrammes.

Les accidents qui auraient pu se produire avaient été évités parce que, en présence du liquide qui humecte toujours les yeux, le phénomène de caléfaction s'était produit et il n'y avait pas eu contact du plomb.

302. **Chaleur de vaporisation.** — La 2^e loi de l'ébullition conduit à des considérations analogues à celles que nous avons développées pour la fusion. Pour que l'ébullition ait lieu, il ne suffit pas que le corps soit porté à la température d'ébullition — à cette température comme à toute autre il y aura évaporation; — mais il faut encore fournir de la chaleur et la quantité de vapeur produite par ébullition est proportionnelle à la quantité de chaleur fournie, la température reste constante. La loi devrait donc être énoncée ainsi plus complètement :

Pendant toute la durée de l'ébullition d'un liquide, la température de celui-ci ne change pas quoiqu'on continue à fournir de la chaleur.

Comme pour la fusion, et comme d'ailleurs nous l'avons déjà dit pour l'évaporation, la chaleur ainsi fournie, qui ne produit pas d'effet thermique, pas d'élévation de température, est transformée en travail mécanique et sert à produire le changement d'état : c'est la chaleur de vaporisation (287) sur laquelle nous n'avons pas à insister après ce que nous avons dit.

303. — Comme nous l'avons dit, lorsqu'une vapeur passe à l'état liquide elle rend la chaleur qui avait servi à produire le changement d'état; cette chaleur est souvent en quantité considérable. Un kilogramme de vapeur d'eau à 100° rend 537 calories pour passer à l'état d'eau à 100°; si on abaisse sa température à 0°, elle aura rendu en tout :

$$537 + 100 = 637 \text{ calories.}$$

Cette propriété de la vapeur de fournir de la chaleur par sa condensation est fréquemment employée pour produire des élévations de température en évitant l'action du feu nu. Pour chauffer un liquide dans un vase, il suffit de faire traverser celui-ci par un serpentín qu'on met en communication avec une chaudière produisant de la vapeur; la vapeur vient se condenser dans le serpentín en élevant la température de celui-ci et du liquide qui est en contact avec lui; on règle la température obtenue en faisant varier la quantité de vapeur admise dans le serpentín.

Cette même propriété est utilisée pour le chauffage des maisons, des grands bâtiments : la vapeur produite par une chaudière est envoyée par un réseau de tuyaux dans les pièces à chauffer : ces tuyaux sont entourés de matière isolante pour éviter le refroidissement et la condensation qui en serait la conséquence; au contraire ils sont mis à nu et disposés de manière à présenter une large surface de contact avec l'air dans les pièces à chauffer : la vapeur se condense alors en cédant la chaleur de vaporisation qui élève la température des tuyaux et par suite

celle de l'air ambiant. L'eau provenant de la condensation retourne en général à la chaudière, par l'action de la pesanteur.

Dans quelques cas, les tuyaux au lieu d'être mis directement en contact avec l'air passent dans des réservoirs contenant de l'eau. Cette eau s'échauffe par la condensation de la vapeur et c'est elle qui élève la température de l'air ambiant.

304. **Distillation des liquides.** — La distillation des liquides repose sur les différents principes que nous avons donnés et sur le suivant qu'on appelle *principe de Watt* ou de la *paroi froide*.

Il consiste en ce que, si dans une enceinte contenant un liquide, il y a des parties maintenues à des températures différentes, l'équilibre ne peut exister que si dans toute l'enceinte la vapeur est à la tension maxima qui correspond à la température la plus basse. On sait déjà que l'équilibre dans une masse gazeuse ne peut avoir lieu que si la pression est partout la même; il faut d'autre part que cette pression de la vapeur soit la tension maxima pour la température la plus basse, car si, au point où cette température existe, elle avait une valeur plus élevée, elle ne pourrait subsister et une partie de la vapeur se condenserait : l'équilibre alors ne subsisterait plus.

Il résulte de là que si, dans une enceinte, il y a deux points qui sont maintenus à des températures différentes t et t' , et qu'un liquide se trouve au point où la température est la plus élevée, t par exemple, la vapeur se formera en ce point, se répandra dans l'espace et ira se condenser au point où la température est t' , et cela continuera évidemment jusqu'à ce que tout le liquide ait quitté la partie chaude pour venir à la partie froide : on dit alors qu'il y a eu *distillation*.

On sait que cette opération est fréquemment employée pour obtenir un liquide débarrassé des matières solides qu'il tenait en suspension ou même en dissolution. Le liquide est placé dans un vase C, A (fig. 113) nommé *alambic* que l'on chauffe et qui est relié à un *serpentín* S où la vapeur se condense, le liquide condensé s'écoulant par l'extrémité opposée du serpentín. Mais il faut remarquer que, par l'effet de la condensation,

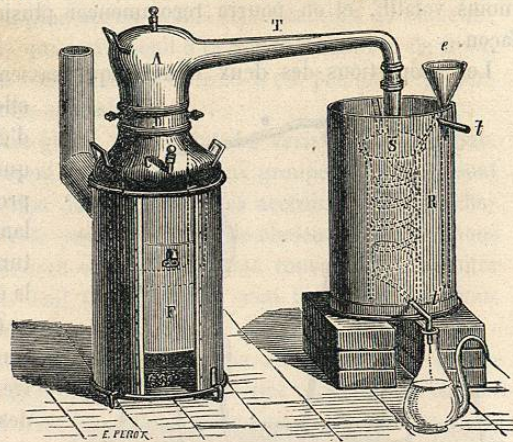


Fig. 113.

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.

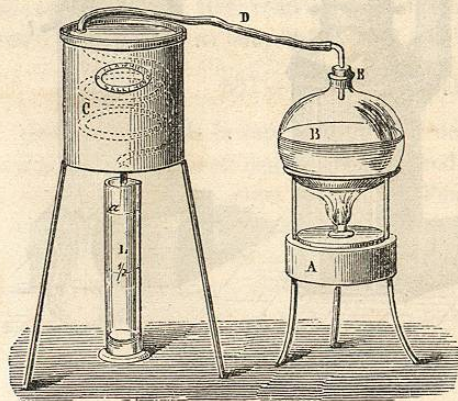


Fig. 114.

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