

L'emploi, dans les calculs, du poids spécifique des gaz par rapport à l'eau offre l'avantage de donner immédiatement en kilogrammes le poids du litre du gaz que l'on considère. Par exemple, dans le calcul ci-dessus, si l'on multiplie le nombre 0,0693, qui représente le poids spécifique de l'hydrogène par rapport à l'air, par le nombre 0,001293, qui est le poids spécifique de l'air par rapport à l'eau, le produit  $0^{\text{kg}},0000896$ , ou  $0^{\text{gr}},0896$ , est le poids d'un litre d'hydrogène à zéro et à la pression 760 millimètres.

## CHAPITRE V.

### CHANGEMENTS D'ÉTAT, VAPEURS.

299. **Fusion, ses lois.** — Des divers phénomènes que présentent les corps sous l'influence du calorique, il n'a été question jusqu'ici que de leur dilatation. Or, en ne considérant d'abord que les solides, il est facile de reconnaître que cette dilatation a une limite. En effet, à mesure qu'un corps absorbe une plus grande quantité de calorique, la force répulsive que celui-ci exerce entre les molécules augmente, et il vient un moment où l'attraction moléculaire est insuffisante pour maintenir le corps à l'état solide. Un nouveau phénomène se produit alors : il y a *fusion*, c'est-à-dire passage de l'état solide à l'état liquide par l'influence de la chaleur.

Toutefois un grand nombre de substances, comme le papier, le bois, la laine, certains sels, ne fondent pas sous l'action d'une température élevée, mais sont décomposées. De tous les corps simples, un seul n'a pu être fondu jusqu'ici par l'action des sources de chaleur les plus intenses : c'est le carbone. Cependant, en le soumettant à l'action d'un courant électrique très-puissant, M. Despretz est parvenu à ramollir ce corps jusqu'à le rendre flexible, ce qui indique un état voisin de la fusion.

L'expérience fait voir que la fusion des corps est constamment soumise aux deux lois suivantes :

- 1° *Tout corps entre en fusion à une température déterminée, invariable pour chaque substance, si la pression est constante.*
- 2° *Quelle que soit l'intensité de la source de chaleur, depuis le moment que la fusion commence, la température cesse de s'élever et reste constante jusqu'à ce que la fusion soit complète.*

### Températures de fusion de diverses substances.

Mercure. . . . .	— 40°	1 d'étain, 4 de bismuth. . . . .	+ 94°
Glace. . . . .	0	Soufre. . . . .	111
Chlorure de calcium hydraté. . . . .	29	Étain. . . . .	228
Snif. . . . .	+ 33	Bismuth. . . . .	264
Phosphore. . . . .	44	Plomb. . . . .	326
Sperma ceti. . . . .	49	Zinc. . . . .	360
Potassium. . . . .	55	Antimoine. . . . .	432
Acide margarique. . . . .	57	Argent. . . . .	1000
Stéarine. . . . .	60	Fonte blanche. . . . .	1100
Cire jaune. . . . .	61	Fonte grise. . . . .	1200
Cire blanche. . . . .	69	Or. . . . .	1250
Acide stéarique. . . . .	70	Acier. . . . .	1350
Sodium. . . . .	90	Fer doux. . . . .	1500
Alliage de d'Arcet (1 de plomb,		Platine. . . . .	1910 à 2000

M. Hopkins, en Angleterre, a récemment constaté par l'expérience que la température de fusion s'élève d'une manière sensible à mesure que la pression augmente. Les corps sur lesquels il a expérimenté sont le soufre, la cire, la stéarine et le sperma-ceti. M. W. Thompson a observé le contraire pour la glace ; c'est-à-dire que son point de fusion s'abaisse lorsque la pression croît. D'où l'on voit que la température de fusion, pour un même corps, n'est pas fixe, comme on l'avait admis jusqu'ici, mais varie avec la pression.

300. **Calorique latent.** — Lors du passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, la température restant constante pendant toute la durée de la fusion (299, 2°), quelle que soit l'intensité du foyer, on doit en conclure que pour changer d'état, les corps absorbent une quantité de chaleur considérable, dont l'unique effet est de les maintenir à l'état liquide. Cette quantité de chaleur, qui n'agit pas sur le thermomètre, et qui se combine en quelque sorte avec les molécules des corps, se désigne sous le nom de *calorique latent* ou *calorique de fusion*.

L'expérience suivante est propre à donner une idée exacte de ce qu'il faut entendre par calorique latent. Si l'on mélange d'abord 1 kilogramme d'eau à zéro avec le même poids d'eau à 79 degrés, on a immédiatement 2 kilogrammes d'eau à 39 degrés  $\frac{1}{2}$ , c'est-à-dire à une température moyenne entre celle des deux liquides mélangés ; ce qu'il était facile de prévoir, puisque tous les deux étaient de même nature et en quantité égale. Mais si l'on mélange 1 kilogramme de glace pilée avec un égal poids d'eau à 79 degrés, la glace se fond aussitôt et on obtient 2 kilogrammes d'eau à zéro. On voit par là que, sans changer de température et uniquement pour se fondre, 1 kilogramme de glace absorbe la quantité de chaleur nécessaire pour élever de zéro à 79 degrés 1 kilogramme

d'eau. Cette quantité de chaleur représente donc le calorique de fusion de la glace, ou le calorique latent de l'eau.

Chaque liquide a un calorique latent particulier; on verra bientôt comment on le détermine par l'expérience (367).

**301. Dissolution.** — Un corps se *dissout* lorsqu'il se liquéfie par l'effet de l'affinité qui s'exerce entre ses molécules et celles d'un liquide. La gomme arabique, le sucre, la plupart des sels, se dissolvent dans l'eau.

Pendant la dissolution, de même que pendant la fusion, il y a absorption d'une quantité plus ou moins considérable de calorique latent. C'est pourquoi la dissolution d'un sel détermine, en général, un abaissement de température. Cependant il arrive pour certaines dissolutions que la température ne s'abaisse pas, et même qu'elle s'élève. On s'en rend compte en observant qu'il se produit ici deux effets simultanés et contraires. Le premier est le passage de l'état solide à l'état liquide, effet qui entraîne un abaissement de température; le second est la combinaison du corps dissous avec le liquide. Or, toute combinaison chimique se fait avec dégagement de chaleur. Par conséquent, suivant que c'est l'un des deux effets qui prédomine, ou suivant qu'ils sont égaux, il y a production de froid ou de chaleur, ou bien la température reste constante.

**302. Solidification, ses lois.** — La *solidification* ou *congélation* est le passage de l'état liquide à l'état solide. Ce phénomène est toujours soumis aux deux lois suivantes, qui sont les réciproques de celles de la fusion, et qui se constatent par l'expérience :

1<sup>o</sup> *La solidification se produit, pour chaque corps, à une température fixe, qui est précisément celle de la fusion.*

2<sup>o</sup> *Depuis le moment que la solidification commence, jusqu'à ce qu'elle soit complète, la température du liquide reste constante.*

Cette seconde loi résulte de ce que le calorique latent absorbé pendant la fusion redevient libre au moment de la solidification.

Plusieurs liquides, comme l'alcool, l'éther, ne se solidifient point par les plus grands froids auxquels on ait pu les soumettre. Cependant par un froid produit à l'aide d'un mélange de protoxyde d'azote liquéfié, d'acide carbonique solide et d'éther, M. Despretz est parvenu à donner à l'alcool une consistance telle, que le vase qui le contenait a pu être renversé sans que le liquide s'écoulât.

**303. Cristallisation.** — Généralement, les corps qui passent lentement de l'état liquide à l'état solide affectent des formes géométriques déterminées qu'on nomme *cristaux*, telles que celles de tétraèdres, de cubes, de prismes, de rhomboèdres. Si c'est un corps en fusion, comme le soufre, le bismuth, qui se solidifie, on dit que la cristallisation se fait par *voie sèche*; mais si c'est un corps

tenu en dissolution dans un liquide, on dit que la cristallisation se fait par *voie humide*. C'est en laissant évaporer lentement les liquides qui tiennent des sels en dissolution que ceux-ci se cristallisent. La neige, la glace naissante, les sels, nous offrent des exemples de cristallisation.

**304. Formation de la glace.** — L'eau distillée se solidifie à zéro, et prend alors le nom de *glace*; mais la congélation ne se produit que lentement, parce que la partie qui se solidifie cède son calorique latent au reste de la masse liquide.

La glace offre ce phénomène remarquable, qu'elle est moins dense que l'eau. On a déjà vu, en effet, que par le refroidissement l'eau ne se contracte que jusqu'à 4 degrés (289); à partir de ce point jusqu'à zéro, elle se dilate. Or, cet accroissement de volume persiste et augmente encore au moment de la congélation: et l'on trouve que le volume de la glace à zéro est 1,075 fois celui de l'eau à 4 degrés. Par le fait de cette dilatation, la densité de la glace n'est que 0,930 de celle de l'eau; c'est pourquoi elle flotte à la surface de ce liquide.

L'accroissement de volume que prend la glace en se formant est accompagné d'une force expansive considérable qui fait éclater les vases qui la contiennent. Les pierres gélives, qui se délitent après la gelée, ne doivent cet effet qu'à l'eau qui a pénétré dans leurs pores et s'y est congelée.

Williams, en Angleterre, pour démontrer la force expansive de la glace, plaça dans une atmosphère de plusieurs degrés au-dessous de zéro une bombe remplie d'eau, après en avoir fermé solidement la lumière au moyen d'un tampon de bois. Au moment de la congélation, ce tampon fut lancé avec force à une grande distance, et un bourrelet de glace s'accumula sur les bords de l'orifice.

L'eau n'est pas la seule substance qui éprouve une augmentation de volume en se solidifiant, et qui, par conséquent, soit plus dense à l'état liquide qu'à l'état solide. La fonte de fer, le bismuth, l'antimoine, présentent le même phénomène. Au contraire, beaucoup de substances, comme le mercure, le phosphore, le soufre, la stéarine, se contractent au moment de la solidification.

**305. Retard de la congélation de l'eau.** — La température de la congélation de l'eau est retardée par les sels ou les autres substances qu'elle tient en dissolution. L'eau de mer, par exemple, ne se solidifie qu'à  $-2^{\circ},5$ .

Le point de solidification de l'eau pure peut être reculé de plusieurs degrés, lorsqu'on la prive de l'air qu'elle tient ordinairement en dissolution, et qu'on la maintient à l'abri de toute agitation. En effet, dans un vase entouré d'un mélange réfrigérant et placé sous

le récipient de la machine pneumatique, afin que l'air se dégage, l'eau peut descendre jusqu'à  $-12$  degrés et même au delà sans se solidifier. Mais si alors on imprime à sa masse un léger ébranlement, une partie du liquide se congèle aussitôt, et l'on observe ce phénomène remarquable, que la masse restée liquide remonte subitement à zéro. Cette élévation de température est due au calorique latent qui devient libre par la formation de la glace.

Une agitation rapide peut aussi s'opposer à la congélation des liquides. Il en est encore de même de toute action qui, gênant les molécules dans leur mouvement, ne leur permet pas de se grouper dans les conditions nécessaires à l'état solide. C'est ainsi que M. Despretz a pu refroidir, dans des tubes très-capillaires, de l'eau jusqu'à  $-16$  degrés sans qu'elle se congelât. Cette expérience peut servir à expliquer comment les plantes, dans de certaines limites, résistent à la gelée, les vaisseaux qui contiennent la sève étant très-capillaires. Enfin, M. Mousson, en Allemagne, a trouvé qu'une puissante compression peut non-seulement retarder la congélation de l'eau, mais l'empêcher d'être complète.

306. **Mélanges réfrigérants.** — L'absorption du calorique à l'état latent, par les corps qui passent de l'état solide à l'état liquide (300), a été utilisée pour produire des froids artificiels plus ou moins intenses. Ce résultat s'obtient en mélangeant des substances qui ont de l'affinité les unes pour les autres, et dont une au moins est solide, telles que de l'eau et un sel, de la glace et un sel, un acide et un sel. L'affinité chimique accélérant alors la fusion, la portion qui se fond enlève au reste du mélange une grande quantité de calorique qui devient latent; d'où résulte un abaissement de température quelquefois très-considérable.

Le tableau suivant indique les proportions et la nature des substances à employer pour obtenir un abaissement de température déterminé.

SUBSTANCES.	PARTIES en poids.	REFROIDISSEMENT.
Sulfate de soude.....	8	+ 10° à - 17°
Acide chlorhydrique.....	3	
Glace pilée ou neige.....	2	
Sel marin.....	1	+ 10° à - 18°
Sulfate de soude.....	3	
Acide azotique étendu.....	2	
Sulfate de soude.....	6	+ 10° à - 19°
Azotate d'ammoniaque.....	5	
Acide azotique étendu.....	4	
Phosphate de soude.....	9	+ 10° à - 29°
Acide azotique étendu.....	4	

Les mélanges réfrigérants sont fréquemment utilisés en chimie, en physique, dans l'industrie et dans l'économie domestique. On fabrique depuis quelques années, sous le nom de *glacière des familles*, un petit appareil pour obtenir de la glace en toutes saisons, au moyen d'une dissolution de sulfate de soude dans l'acide chlorhydrique : 6 kilogrammes de ce sel et 5 d'acide suffisent pour donner 5 à 6 kilogrammes de glace en une heure. L'appareil consiste en un cylindre métallique divisé en quatre compartiments concentriques. Au centre est l'eau à congeler; dans le compartiment suivant se place le mélange réfrigérant; le troisième contient encore de l'eau; et enfin, dans le compartiment extérieur, est un corps peu conducteur, tel que du coton, destiné à s'opposer à l'absorption du calorique extérieur. Le meilleur moyen d'utiliser un mélange réfrigérant est de ne le former que successivement.

#### VAPEURS; MESURE DE LEUR TENSION.

307. **Vapeurs.** — On a déjà vu (126) qu'on nomme *vapeurs*, des fluides aëriiformes en lesquels se transforment, par l'absorption du calorique, un grand nombre de liquides, tels que l'éther, l'alcool, l'eau, le mercure. On appelle liquides *volatils* ceux qui possèdent ainsi la propriété de pouvoir passer à l'état aëriiforme, et liquides *fixes* ceux qui ne donnent de vapeurs à aucune température : telles sont les huiles grasses. Il est des corps solides, comme la glace, l'arsenic, le camphre, et en général les matières odorantes, qui donnent immédiatement des vapeurs sans passer par l'état liquide.

Les vapeurs sont transparentes comme les gaz, et généralement incolores; il n'y a qu'un petit nombre de liquides colorés dont les vapeurs soient elles-mêmes colorées.

308. **Vaporisation.** — Le passage d'un corps de l'état liquide à l'état de vapeur se désigne sous le nom général de *vaporisation*; mais on entend spécialement par *évaporation*, toute production lente de vapeur à la surface d'un liquide, et par *ébullition*, une production rapide de vapeur dans sa masse même. On verra bientôt (320) que, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, l'ébullition ne se produit, comme la fusion, qu'à une température déterminée. Il n'en est pas de même de l'évaporation, qui s'opère, pour un même liquide, à des températures très-diverses; cependant, au delà d'un certain refroidissement, toute vaporisation paraît cesser. Le mercure, par exemple, ne donne plus de vapeur au-dessous de  $-10$  degrés; l'acide sulfurique, au-dessous de 30.

309. **Force élastique des vapeurs.** — Comme les gaz, les vapeurs ont une force élastique, en vertu de laquelle elles exercent sur les parois des vases qui les contiennent des pressions plus ou moins considérables. Pour démontrer la tension des vapeurs, et en même temps pour les rendre sensibles à l'œil, on emplit de mercure, à

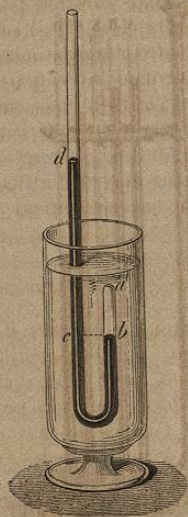


Fig. 221.

moitié, un tube de verre recourbé en siphon (fig. 221); puis, ayant fait passer une goutte d'éther dans la courte branche qui est fermée, on plonge le tube dans un bain d'eau à 45 degrés environ. Alors, le mercure s'abaissant lentement dans la petite branche, l'espace *ab* se remplit d'un gaz ayant tout à fait l'apparence de l'air, et dont la force élastique fait évidemment équilibre à la colonne de mercure *cd*, ainsi qu'à la pression atmosphérique qui s'exerce en *d*. Or, ce gaz n'est autre chose que de la vapeur d'éther. Si l'on refroidit l'eau du vase, ou si l'on retire le tube du bain, ce qui produit le même effet, on voit disparaître rapidement la vapeur qui remplit l'espace *ab*, et la goutte d'éther se reformer. Si, au contraire, on chauffe davantage l'eau du bain, le niveau du mercure descend au-dessous du point *b*, ce qui indique un accroissement de tension.

310. **Formation des vapeurs dans le vide.** — Dans l'expérience précédente, le passage à l'état de vapeur ne s'opère que lentement. Il en est encore de même lorsqu'un liquide volatil est exposé librement à l'air. Dans les deux cas, la pression atmosphérique est un obstacle à la vaporisation; mais il n'en est plus ainsi lorsque les liquides sont placés dans le vide. La force élastique des vapeurs ne rencontrant alors aucune résistance, leur formation est instantanée. Pour le démontrer, on fait plonger plusieurs tubes barométriques dans une même cuvette (fig. 222). Ces tubes étant remplis de mercure, on en conserve un, le tube A par exemple, pour servir de baromètre, puis on introduit quelques gouttes d'eau, d'alcool et d'éther, respectivement dans les tubes B, C, D. On remarque qu'à l'instant même où, dans chacun de ces tubes, le liquide pénètre dans le vide barométrique, le niveau du mercure s'abaisse, comme le montre la figure. Or, ce n'est pas le poids du liquide introduit qui déprime le mercure, car ce poids n'est qu'une fraction très-petite de celui du mercure déplacé. Il y a donc en

pour chaque liquide, une production instantanée de vapeur, dont la force élastique a refoulé la colonne mercurielle.

L'expérience ci-dessus montre, en outre, que la dépression du mercure n'est pas la même dans les trois tubes; elle est plus grande dans le tube où est l'alcool que dans celui où est l'eau, et plus grande dans le tube à éther que dans les deux autres. Nous pouvons donc, dès à présent, poser les deux lois suivantes sur la formation des vapeurs :

1<sup>o</sup> *Dans le vide, tous les liquides volatils se vaporisent instantanément.*

2<sup>o</sup> *A température égale, les vapeurs de liquides différents ne possèdent pas la même force élastique.*

Par exemple, à 20 degrés, la tension de la vapeur d'éther est à peu près 25 fois plus grande que celle de la vapeur d'eau.

311. **Vapeurs à l'état de saturation, maximum de tension.** —

Lorsque dans le tube d'un baromètre on introduit un liquide volatil, tel que de l'éther, si la quantité en est très-petite, elle se vaporise instantanément d'une manière complète, et la colonne de mercure n'atteint pas la plus grande dépression qu'elle est susceptible d'éprouver; car, si l'on introduit de nouveau une très-petite quantité d'éther, on voit la dépression augmenter. Or, en continuant ainsi, il vient un moment où l'éther qui pénètre dans le tube cesse de se vaporiser et reste à l'état liquide. Il y a donc, pour une température déterminée, une limite à la quantité de vapeur qui peut se former dans un espace donné. C'est ce qu'on exprime en disant que cet espace est alors saturé.

Remarquons, en outre, que du moment que la vaporisation de l'éther cesse, la dépression du mercure s'arrête. Il y a donc aussi une limite à la tension de la vapeur, limite qui, ainsi qu'il sera démontré bientôt (314), varie avec la température, mais qui, pour une température donnée, est indépendante de la pression.

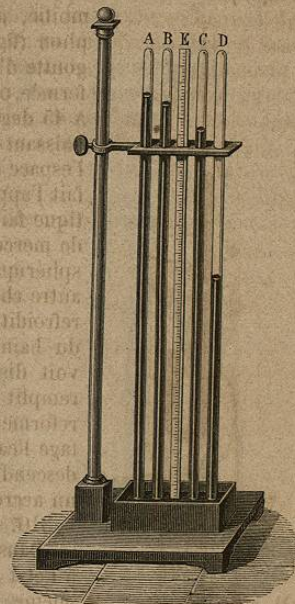


Fig. 222 (h = 88).

Pour faire voir que, dans un espace fermé, saturé de vapeur et contenant du liquide *en excès*, la température restant constante, il y a un *maximum de tension* que la vapeur ne peut dépasser, quelle que soit la pression, on fait usage d'un tube barométrique plongeant dans une cuvette profonde

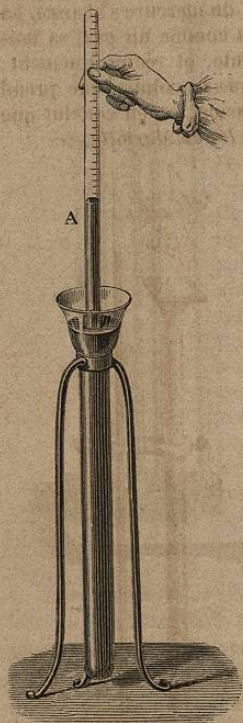


Fig. 223.

de saturation, celui où elles sont en contact avec leur liquide, elles diffèrent complètement des gaz, puisque, pour une température donnée, elles ne peuvent être ni comprimées, ni dilatées, leur force élastique et leur densité restant constantes.

Au second état, au contraire, les vapeurs non saturées, non en contact avec leur liquide, sont tout à fait comparables aux gaz, dont elles possèdent toutes les propriétés. En effet, si l'on répète

l'expérience ci-dessus (fig. 223), en n'introduisant dans le tube qu'une très-petite quantité d'éther, de manière que la vapeur qui se forme n'atteigne pas l'état de saturation, et si l'on soulève alors légèrement le tube, on voit le niveau du mercure monter, ce qui indique que la force élastique de la vapeur a diminué. De même, en enfonçant le tube davantage, le niveau du mercure s'abaisse. La vapeur se comporte donc ici entièrement comme un gaz, sa tension diminuant quand le volume augmente, et réciproquement; et comme, dans les deux cas, on observe que le volume que prend la vapeur est en raison inverse de la pression, on en conclut que *les vapeurs non saturées sont soumises à la loi de Mariotte*.

312. **Vapeurs non saturées.** — D'après ce qui précède, les vapeurs se présentent sous deux états bien distincts, suivant qu'elles sont ou non saturées. Dans le premier état, celui

Enfin, en chauffant une vapeur non saturée, on remarque que son accroissement de volume est de même ordre que celui des gaz, et que le nombre 0,00367, qui représente le coefficient de dilatation de l'air, peut être pris sensiblement pour celui des vapeurs.

En résumant ce qui précède, on voit donc que les vapeurs non saturées sont tout à fait comparables aux gaz, et qu'on peut leur appliquer toutes les formules relatives à la compressibilité et à la dilatabilité de ces derniers (152 et 292). Mais il ne faut pas oublier qu'il y a toujours une limite de pression ou de refroidissement pour laquelle les vapeurs non saturées passent à l'état de saturation, et qu'elles ont alors un maximum de tension et de densité qui ne peut être dépassé qu'autant que les vapeurs étant en contact avec leur liquide, leur température s'élève.

313. **Tension de la vapeur d'eau au-dessous de zéro.** — Pour mesurer la force élastique de la vapeur d'eau au-dessous de zéro, Gay-Lussac s'est servi de deux tubes barométriques remplis de mercure et plongeant dans une même cuvette (fig. 224). L'un d'eux, qui est droit et parfaitement purgé d'air et d'humidité, sert à mesurer la pression atmosphérique; l'autre est recourbé de manière qu'une partie de la chambre barométrique plonge dans un mélange réfrigérant (306). Cela posé, si

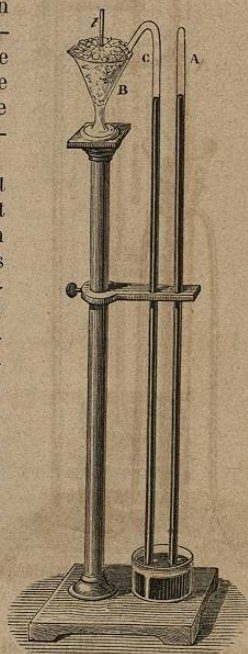


Fig. 224.

l'on fait passer un peu d'eau dans le tube recourbé, on remarque que le niveau du mercure dans ce tube est plus bas que dans le tube A d'une quantité qui varie avec la température du mélange réfrigérant.

A 0° la dépression est, en millimètres..	4,60
— 10 .....	1,96
— 20 .....	0,84
— 30 .....	0,30

Ces dépressions, qui sont nécessairement dues à la tension de la vapeur dans la chambre barométrique BC, montrent qu'à des températures très-basses, il y a encore de la vapeur d'eau dans l'air.

Dans l'expérience ci-dessus, il est vrai que la partie B et la partie C de la chambre barométrique où est la vapeur ne participent pas toutes les deux à la température du mélange réfrigérant; mais on verra bientôt (318) que lorsque deux vases qui communiquent entre eux sont à des températures inégales, la tension de la vapeur est la même dans tous les deux, et correspond toujours à la plus basse des deux températures.

**314. Tension de la vapeur d'eau entre zéro et 100 degrés.** — 1° *Procédé de Dalton.* — Dalton a mesuré la force élastique de la vapeur, de zéro à 100 degrés, au moyen de l'appareil ci-contre. Deux tubes barométriques A et B (fig. 225) plongent dans une marmite de fonte pleine de mercure et placée sur un fourneau. Le baromètre B est complètement purgé d'air et d'humidité, et dans le baromètre A on a fait passer une petite

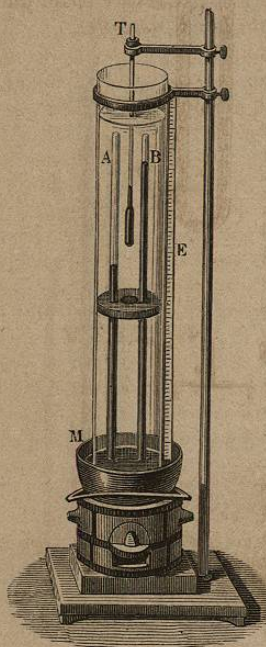


Fig. 225 ( $h = 1^m,07$ ).

quantité d'eau. Ces deux baromètres sont maintenus dans un manchon de verre rempli d'eau, et au centre de ce manchon plonge un thermomètre T, qui donne la température du liquide. En chauffant graduellement la marmite, et, par suite, l'eau du manchon, celle qui est dans le tube A se vaporise, et, à mesure que la tension de la vapeur augmente, le mercure s'abaisse. C'est en notant,

de degré en degré, sur une échelle E, la dépression qui a lieu dans le tube A, au-dessous du niveau B, que Dalton a le premier construit une table des forces élastiques de la vapeur d'eau de zéro jusqu'à 100 degrés.

2° *Procédé de M. Regnault.* — L'appareil de Dalton offre peu

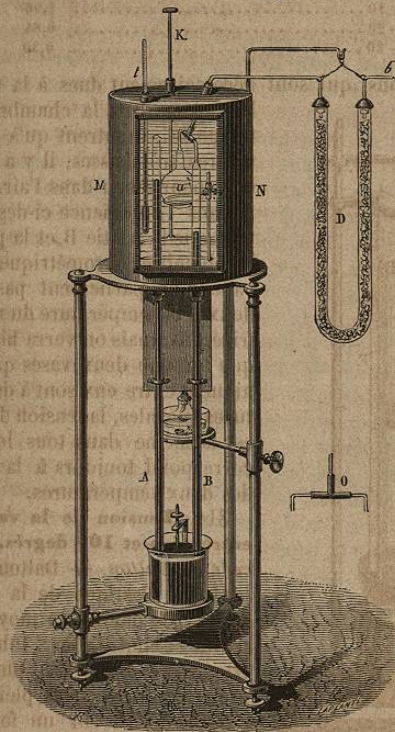


Fig. 226.

de précision, car le liquide du manchon ne peut être entretenu exactement à la même température dans toute sa hauteur, et dès lors on n'a pas la température précise de la vapeur. M. Regnault a modifié cet appareil en remplaçant le manchon par une caisse de tôle MN (fig. 226) dont le fond porte deux tubulures dans lesquelles les extrémités supérieures des deux tubes A et B s'engagent, maintenues par des feuilles de caoutchouc. Le tube à vapeur B est relié

à un ballon *a*, d'un demi-litre de capacité environ, à l'aide d'une tubulure de cuivre à trois branches représentée en O sur la droite du dessin. La troisième branche de cette tubulure est mastiquée à un tube de verre qui aboutit à un tube D rempli de ponce sulfurique, communiquant lui-même avec la machine pneumatique par un dernier tube *b*.

Pour expérimenter avec cet appareil, on introduit dans le ballon *a* une petite quantité d'eau, dont on fait distiller une portion dans le tube B en chauffant légèrement le ballon. Faisant alors le vide avec la machine pneumatique, l'eau distille d'une manière continue du ballon et du tube barométrique vers le tube D, qui condense les vapeurs. Lorsque, après avoir ainsi vaporisé plusieurs grammes d'eau, on juge que tout l'air contenu dans l'appareil a été entraîné, on juge que tout l'air contenu dans l'appareil a été entraîné, on soude à la lampe le tube capillaire qui relie le tube B à la pièce aux trois tubulures. Le tube B étant alors fermé et contenant encore un peu d'eau, on expérimente comme avec l'appareil de Dalton.

Pour cela, on remplit la caisse MN d'eau, qu'on chauffe doucement avec une lampe à alcool placée au-dessous et séparée des tubes par une planchette de bois. A l'aide d'un agitateur K, on mélange constamment les différentes couches du liquide, afin d'obtenir une température uniforme pour toutes les parties du bain dans lequel sont placés les deux tubes barométriques. Une glace de verre, encastrée dans les parois de la caisse, permet d'observer, à l'aide du cathétomètre, la hauteur du mercure dans les tubes; et c'est de la différence de ces hauteurs, ramenées à zéro, qu'on déduit la tension de la vapeur. Au moyen de cet appareil, M. Regnault a mesuré avec précision la force élastique de la vapeur d'eau de zéro à 50 degrés.

**315. Tension de la vapeur d'eau au-dessus de 100 degrés, par Dulong et Arago.** — Deux procédés ont été mis en usage pour mesurer la force élastique de la vapeur d'eau à des températures supérieures à 100 degrés, l'un par Dulong et Arago, en 1830, l'autre par M. Regnault, en 1844.

La figure 227 représente une coupe verticale de l'appareil dont se servirent Dulong et Arago pour mesurer la force élastique de la vapeur d'eau au-dessus de 100 degrés. Cet appareil consistait en une chaudière de cuivre rouge *k*, de 80 litres de capacité et à parois très-épaisses. Deux canons de fusil *a*, dont un seul est visible dans le dessin, plongeaient dans l'eau de la chaudière, aux parois de laquelle ils étaient solidement scellés. Ces canons de fusil, fermés à leur partie inférieure, étaient remplis de mercure dans lequel étaient placés des thermomètres *t* qui faisaient connaître la tem-

pérature de l'eau et de la vapeur dans la chaudière. La tension de la vapeur se mesurait au moyen d'un manomètre à air comprimé *m*, le même que nous avons décrit en parlant de la loi de Mariotte (fig. 99, p. 129). Ce manomètre avait été gradué expérimentalement d'avance et adapté à une cuvette de fonte *d*, remplie de mercure. Pour connaître la hauteur du mercure dans la cuvette, celle-ci

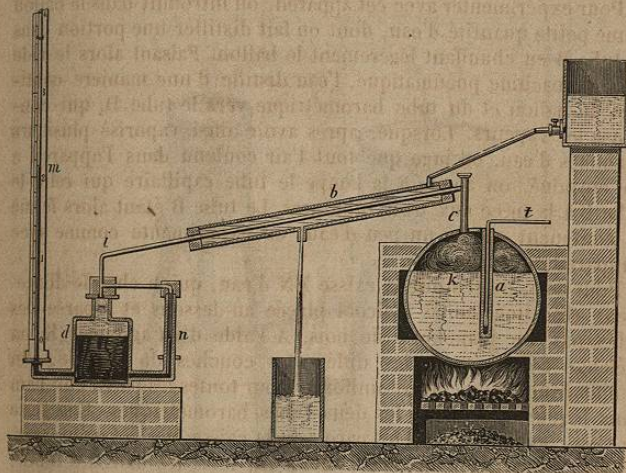


Fig. 227.

était en communication, à son sommet et à sa base, avec un tube de cristal *n*, dans lequel le niveau était toujours le même que dans la cuvette. Enfin, un tube de cuivre *i* faisait communiquer la partie supérieure de la cuvette *d* avec un tube vertical *c*, partant directement de la chaudière et donnant issue à la vapeur. Le tube *i* et la partie supérieure de la cuvette *d* étaient remplis d'eau qu'on maintenait constamment à une basse température, en faisant circuler autour du tube un courant d'eau froide, qui s'écoulait d'un réservoir représenté sur la droite du dessin.

La vapeur qui se dégageait du tube *c* exerçant sa pression sur l'eau du tube *i*, cette pression se transmettait à l'eau et au mercure de la cuvette *d*, et le mercure montait dans le manomètre. En prenant, de degré en degré, les températures marquées par les thermomètres, et observant en même temps le manomètre, Dulong et Arago ont ainsi mesuré directement la tension de la vapeur d'eau jusqu'à 24 atmosphères. Par le calcul ils l'ont ensuite évaluée jusqu'à 50.

316. Tension de la vapeur d'eau au-dessus et au-dessous de 100 degrés par M. Regnault. — On doit à M. Regnault un procédé qui permet de mesurer la tension de la vapeur soit au-dessous, soit au-dessus de 100 degrés. Ce procédé consiste à faire bouillir de l'eau dans un vase, sous une pression connue, et à mesurer la

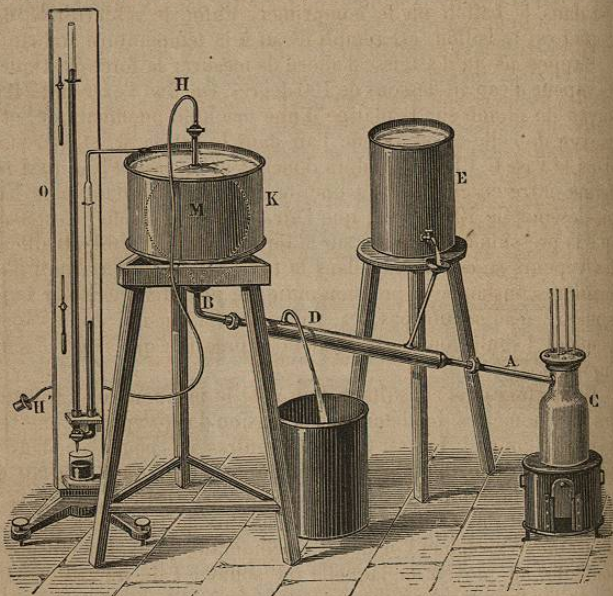


Fig. 223.

température à laquelle se produit l'ébullition. En s'appuyant alors sur ce principe, qu'au moment de l'ébullition la force élastique de la vapeur qui se dégage est précisément égale à la pression que supporte le liquide (323), on connaît la tension de la vapeur et la température correspondante, ce qui résout la question.

L'appareil se compose d'un vase de cuivre C (fig. 228), hermétiquement fermé et rempli d'eau jusqu'au tiers environ. Quatre thermomètres traversent le couvercle : deux plongent dans les premières couches du liquide, et les deux autres dans les couches inférieures. Du réservoir C part un tube AB qui va s'adapter au goulot d'un ballon de verre M, de 24 litres de capacité et rempli d'air. Le tube AB est entouré d'un manchon D, dans lequel circule

un courant d'eau froide qui s'écoule d'un réservoir E. De la partie supérieure du ballon M partent deux tubes : l'un communique avec un manomètre à air libre O, voisin de l'appareil ; l'autre tube HH', qui est de plomb, communique avec une machine pneumatique, ou avec une pompe foulante, suivant qu'on veut raréfier l'air qui est dans le ballon ou le comprimer. Enfin, le réservoir K, dans lequel est le ballon, est rempli d'eau à la température ambiante.

Supposons qu'il s'agisse d'abord de mesurer la force élastique de la vapeur d'eau au-dessous de 100 degrés. On fixe l'extrémité H' du tuyau de plomb sur la platine d'une machine pneumatique, et au moyen de celle-ci on raréfie l'air dans le ballon M, et, par suite, dans le vase C. Chauffant alors doucement ce vase, l'eau qu'il renferme entre en ébullition à une température d'autant plus basse au-dessous de 100 degrés, que l'air a été plus raréfié, c'est-à-dire que la pression qui s'exerce sur le liquide est plus faible. D'ailleurs, les vapeurs se condensant dans le tube AB, qui est refroidi d'une manière constante, la pression indiquée primitivement par le manomètre n'augmente pas, et, par suite, la tension de la vapeur, pendant l'ébullition, reste égale à la pression qui s'exerce sur le liquide.

C'est alors que, consultant d'un côté le manomètre et de l'autre les thermomètres, on détermine la tension de la vapeur à une température connue. Laisant ensuite rentrer un peu d'air dans les tubes et dans le vase C, afin d'augmenter la pression, on fait une nouvelle observation, et l'on continue ainsi jusqu'à 100 degrés.

S'il s'agit de mesurer la force élastique de la vapeur au-dessus de 100 degrés, on met l'orifice H' en communication avec une pompe foulante, au moyen de laquelle on soumet l'air du ballon et du vase C à des pressions successives supérieures à celle de l'atmosphère. L'ébullition se trouve alors retardée (323), et il suffit d'observer simultanément le manomètre et les thermomètres pour connaître la tension de la vapeur à une température supérieure à 100 degrés.

Les deux tableaux ci-après font connaître la tension de la vapeur d'eau, d'après M. Regnault, de — 10 degrés à 100, puis de 100 à 230 degrés. Le premier tableau a été trouvé au moyen de l'appareil qui vient d'être décrit.

Le second a été calculé à l'aide de la formule d'interpolation

$$\log F = a + b\alpha^t + c\delta^t$$

dans laquelle F représente la force élastique de la vapeur,  $t$  sa température, et  $a, b, c, \alpha, \delta$ , des constantes qu'on calcule en commençant par déterminer cinq forces élastiques, c'est-à-dire cinq valeurs de F correspondantes à des températures connues, ce qui donne lieu à autant d'équations que d'inconnues.



Tensions de la vapeur d'eau de  $-10$  degrés à  $100$ , d'après M. Regnault.

TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres de mercure à zéro.	TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres de mercure à zéro.	TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres de mercure à zéro.	TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres de mercure à zéro.
$-10^{\circ}$	2,093	$20^{\circ}$	17,391	$50^{\circ}$	91,982	$80^{\circ}$	354,643
$-5$	3,131	25	23,550	55	117,478	85	433,041
0	4,600	30	31,548	60	148,791	90	523,450
+ 5	6,534	35	41,827	65	186,943	95	663,778
10	9,165	40	54,906	70	233,093	100	760,000
15	12,699	45	71,391	75	288,517		

Tensions, en atmosphères, de  $100$  degrés à  $230,9$ , d'après M. Regnault.

TEMPÉRATURES.	NOMBRE d'atmosphères.	TEMPÉRATURES.	NOMBRE d'atmosphères.	TEMPÉRATURES.	NOMBRE d'atmosphères.	TEMPÉRATURES.	NOMBRE d'atmosphères.
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,3	23
133,9	3	180,3	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	213,6	20	228,9	27
165,3	7	195,5	14	215,5	21	230,9	28

Ces tables font voir que la force élastique de la vapeur d'eau croît suivant une loi beaucoup plus rapide que la température; mais cette loi n'est pas connue. L'expérience a appris, en outre, que les substances en dissolution, comme les sels, les acides, diminuent, à température égale, la force élastique de la vapeur d'eau, et la diminuent d'autant plus, que la dissolution est plus concentrée.

317. Tension des vapeurs de divers liquides. — La vapeur d'eau, à cause de ses nombreuses applications, a d'abord été seule le sujet des recherches des physiciens; mais M. Regnault, par les mêmes procédés qui lui ont servi à mesurer la force élastique de la vapeur d'eau, a aussi déterminé celles des vapeurs d'un certain nombre de liquides. Le tableau ci-après, qui donne quelques-uns des résultats obtenus par ce savant, fait voir combien, à température égale, les vapeurs des divers liquides diffèrent de tension.

LIQUIDES.	TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres	LIQUIDES.	TEMPÉRATURES	TENSIONS en millimètres.
Mercure...	0	0,02	Éther.....	$-20$	9
	50	0,11		0	182
	100	0,74		60	1728
Alcool.....	0	13	Acide sulfureux.....	100	4920
	50	220		$-20$	479
	100	1685		0	1165
Sulfure de carbone...	$-20$	43	Ammoniaque	60	8124
	0	132		$-30$	441
	60	1164		$-20$	4273
	100	3329	0	7709	

318. Tension dans deux vases communiquants inégalement chauds. — Lorsque deux vases fermés, contenant un même liquide à des températures inégales, sont mis en communication, la tension commune de vapeur qui s'établit dans ces deux vases n'est pas,

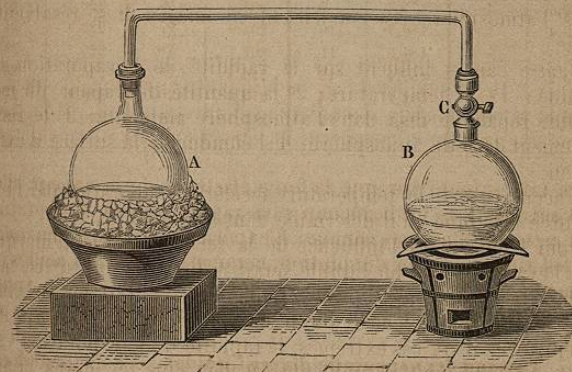


Fig. 229.

comme on pourrait le croire, la tension moyenne entre celles qui existent déjà dans chacun d'eux. Par exemple, soient deux ballons, l'un, A (fig. 229), contenant de l'eau maintenue à zéro dans de la glace fondante; l'autre, B, contenant de l'eau à  $100$  degrés. Tant que ces deux ballons ne communiquent pas, la tension, dans le