

quefois pas élever la température, si le liquide est facilement altérable; mais enfin ces indications peuvent généralement être réalisées en partie.

287. **Refroidissement dû à l'évaporation.** — Lorsqu'on abandonne librement un liquide à l'évaporation, on observe qu'il se refroidit et d'autant plus vite que l'évaporation est plus rapide : par un raisonnement analogue à celui que nous avons fait pour la fusion (281) nous sommes portés à conclure que la quantité de chaleur qui a disparu a été transformée en travail mécanique dont l'effet a été de produire le changement d'état.

On peut même mesurer la quantité de chaleur qui a été employée pour vaporiser un poids connu d'eau. Il suffit pour cela de fournir au liquide de la chaleur de manière à pouvoir mesurer celle-ci, et en réglant l'expérience de manière que le liquide conserve la même température t malgré l'évaporation. Comme, d'autre part, la perte de poids du vase donne la quantité de liquide évaporé, on en peut déduire aisément la quantité qui aurait été nécessaire pour vaporiser 1 kilogramme d'eau dans ces conditions : cette quantité est appelée la *chaleur de vaporisation* à la température t .

On peut donc dire :

La chaleur de vaporisation d'un liquide à la température t est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de poids de ce liquide amené à la température t pour le faire passer à l'état de vapeur sans changer sa température.

En réalité, ce n'est pas ainsi qu'on a fait les expériences, car on a mesuré la chaleur de condensation, chaleur que rend un corps gazeux en se liquéfiant. Il suffit évidemment, pour faire cette détermination, de faire arriver dans un calorimètre une certaine quantité de vapeur, de manière qu'elle s'y liquéfie. On a ainsi le poids de la vapeur et la quantité de chaleur; mais il faut tenir compte des variations de température que subit le corps lorsqu'il est arrivé à l'état liquide.

La chaleur de condensation est égale à la chaleur de vaporisation.

En opérant dans des conditions variées, Regnault a trouvé que q_t , chaleur de vaporisation à la température t , est donnée en calories par la formule :

$$q_t = 606,5 - 0,695 t.$$

Cette valeur varie ainsi de $606^{\circ},5$ pour la vaporisation à 0° , à $537^{\circ},5$ pour la vaporisation à 100° .

288. — Lorsqu'on abandonne un liquide dans des conditions où l'évaporation se produit, c'est le liquide même qui fournit la chaleur nécessaire au changement d'état; le liquide se refroidit. L'évaporation continuant, et avec elle la dépense de chaleur, le refroidissement devrait donc aussi continuer indéfiniment; mais en réalité il n'en est rien, parce que,

par suite même de l'abaissement de température du liquide, celui-ci reçoit de la chaleur de l'air ambiant et des corps voisins (205). Le gain de chaleur croît avec la différence de température; quand il aura une valeur égale à celle de la perte de chaleur du liquide qui s'évapore, la température de celui-ci deviendra constante.

Il résulte de là que l'abaissement de température du liquide sera d'autant plus grande que l'évaporation sera plus rapide, la perte de chaleur par unité de temps plus considérable.

Sans qu'il soit nécessaire de recourir à des expériences de précision, il est facile de se rendre compte de l'exactitude de ces conclusions. On sait, en effet, que si l'on vient à verser sur la peau un liquide qui s'évapore, on éprouve une sensation de froid notable; que cette sensation augmente d'intensité si on projette un liquide pulvérisé qui, présentant une plus grande surface, s'évapore plus rapidement; qu'elle augmente aussi si la partie mouillée est placée dans un courant d'air.

289. — Le refroidissement obtenu dans ces conditions est quelquefois utilisé; c'est ainsi qu'on peut obtenir une anesthésie locale en pulvérisant de l'éther sur la partie que l'on doit opérer. L'emploi de pulvérisations de chlorure de méthyle produit un effet analogue mais plus énergique, qui est maintenant fréquemment employé en médecine. D'après des expériences que nous avons faites, la température peut être abaissée à -30° , -40° et même davantage.

Par contre, les refroidissements de ce genre peuvent avoir un effet fâcheux sur l'organisme, non pas que l'abaissement de température soit certainement la véritable origine des maladies qu'on lui attribue, mais bien plutôt probablement parce qu'il met l'organisme dans des conditions défavorables où il est moins apte à résister aux influences perturbatrices. Ces refroidissements peuvent se produire au sortir d'un bain, si l'on est exposé à un courant d'air; mais le plus souvent, ils sont dus à l'évaporation rapide de la sueur.

Ajoutons que l'évaporation de l'eau à la surface interne des poumons et même quelquefois celle de la sueur joue un rôle important dans la régulation de la température de l'homme et des animaux; mais nous reviendrons sur ce point.

Le refroidissement produit par l'évaporation est utilisé dans quelques cas; c'est lui qui explique l'usage d'un linge mouillé avec lequel on recouvre quelquefois des corps que l'on veut maintenir frais, sinon froids, des bouteilles, par exemple. C'est lui également qui explique l'emploi des alcarazas, carafes en poterie poreuse qui laisse suinter lentement à l'extérieur l'eau qu'on y a introduite; cette eau s'évapore et rafraîchit le vase et son contenu.

Quand on provoque une très rapide évaporation de l'eau, on peut produire un rafraîchissement suffisant pour congeler cette eau. C'est ce que

Leslie a montré en faisant évaporer de l'eau dans l'air raréfié par une machine pneumatique (fig. 106); dans ce cas, c'est la raréfaction de l'air qui assure la très rapide évaporation.

Au Bengale, paraît-il, on obtient de la glace par un procédé analogue : l'eau placée en couche mince dans des plats en poterie est exposée le soir en plein air à l'action d'un courant d'air : au matin, une partie de l'eau est congelée. Ici l'abaissement de température est dû, d'une part, à la rapidité de l'évaporation, large surface, courant d'air, air sec, et, d'autre part, au refroidissement par radiation qui est considérable dans ces climats à cause de la pureté de l'atmosphère.

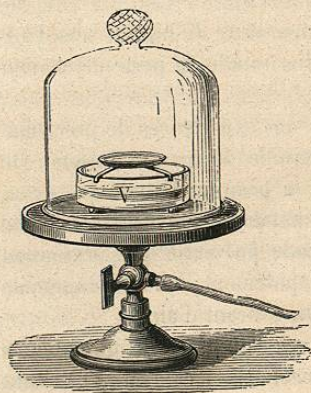


Fig. 106.

Le refroidissement produit par l'évaporation des liquides a été utilisé industriellement; tel est, par exemple, le principe sur lequel repose la production de la glace par le système Carré.

L'appareil employé est formé d'une chaudière en fer forgé A (fig. 107) renfermant une dissolution concentrée de gaz ammoniac et qui com-

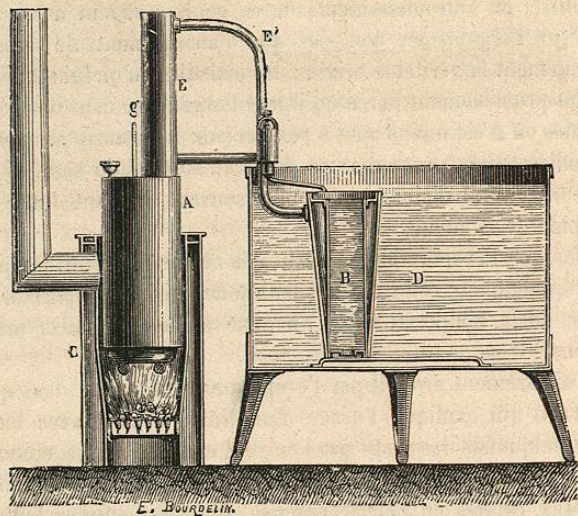


Fig. 107.

munique avec un récipient métallique B présentant une cavité centrale. On chauffe la chaudière, jusque vers 130°; le gaz ammoniac se dégage de sa dissolution et se rend dans le vase B qui a été placé dans un bac

D rempli d'eau froide; il s'y liquéfie sous sa propre pression. On enlève alors l'appareil; la chaudière A est placée dans l'eau froide (fig. 108) et on introduit dans l'espace central de B un vase cylindrique *d* en tenant l'eau à congeler. L'ammoniaque liquide passe à l'état gazeux sans interruption, parce que, au fur et à mesure de sa production, le gaz se dissout dans l'eau de la chaudière A; mais cette vaporisation exige une grande quantité de chaleur qui est fournie notamment par l'eau de *d* qui ne tarde pas à se solidifier. Quand l'opération est terminée, on retire

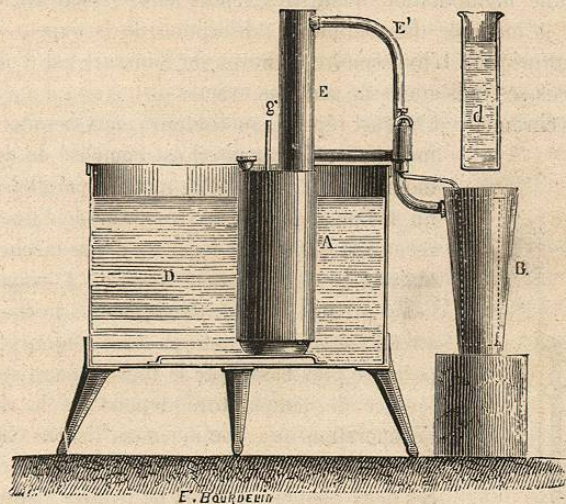


Fig. 108.

le bloc de glace formé en *d*, et l'appareil est prêt pour une nouvelle opération analogue.

Dans la fabrication en grand, la dissolution dans l'eau froide est supprimée et l'action est continue. Une pompe aspirante et foulante diminue d'une part la pression et assure la vaporisation de l'ammoniaque liquide, et, d'autre part, par le refoulement, ramène le gaz à l'état liquide et le renvoie à cet état au réservoir.

Une disposition absolument analogue en principe a été appliquée par M. Pictet; seulement l'ammoniaque est remplacée par le gaz sulfureux.

291. **Des hygromètres.** — Parmi les applications du refroidissement dû à l'évaporation, il faut signaler la plupart des appareils destinés à évaluer l'état hygrométrique de l'air, nous voulons parler des hygromètres à condensation et du psychromètre.

Le principe des hygromètres à condensation a été indiqué par Leroy, de Montpellier; Daniell construisit un appareil pratique qui présentait quelques inconvénients que Regnault a fait disparaître dans son hygromètre

à des d'argent, auquel Alluard et Sire notamment ont apporté des perfectionnements de détail.

Comme pour la température, nous croyons qu'il serait intéressant pour les médecins de connaître le régime de l'état hygrométrique des stations où l'on envoie des malades; comme ces données ne sont connues que pour un petit nombre de villes, il serait utile que les médecins fissent quelques observations à cet égard. On ne saurait leur recommander, pour faire ces observations, l'emploi des hygromètres à condensation qui exigent une manipulation attentive. A plus forte raison ne faut-il pas songer à la méthode dite chimique (absorption de la vapeur d'eau par l'acide sulfurique). L'hygromètre à cheveu de Saussure est d'observation facile, mais ses indications ne sont pas exactes.

Le psychromètre d'August répond, au contraire, aux besoins que nous indiquons. Cet appareil est composé de deux thermomètres t, t' (fig. 109) montés parallèlement sur un même support : le réservoir de l'un d'eux est recouvert d'un linge léger ou d'une mèche de coton maintenue constamment humide. L'évaporation de l'eau produit un refroidissement : le thermomètre à réservoir mouillé indique donc toujours une température plus basse que le thermomètre sec. La différence de température dépend de la rapidité de l'évaporation qui, comme nous l'avons dit, est liée à l'état hygrométrique. La connaissance de l'un de ces deux éléments permet de trouver l'autre à l'aide d'une formule simple. Dans le cas du psychromètre, on lit la différence de température et l'on en peut déduire l'état hygrométrique : on ne fait pas usage généralement de la formule, mais on se sert, soit d'une table numérique qu'on en a déduite, soit d'un

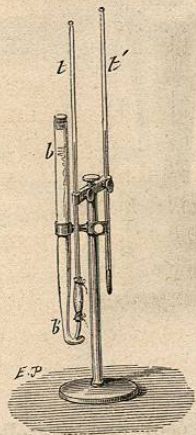


Fig. 109.

tableau graphique, qui n'est qu'une traduction de la table numérique.

L'observation à faire consiste donc seulement à lire sur les thermomètres les deux températures, à l'instant pour lequel on veut déterminer l'état hygrométrique et à inscrire les deux nombres lus. Le reste de l'opération qui se fait en se reportant à la table numérique peut être renvoyé à un autre instant, si le temps fait défaut.

Nous avons dit d'une manière générale l'intérêt qui s'attache aux observations continues : elles s'appliquent absolument à l'état hygrométrique. On peut faire usage d'instruments enregistreurs : l'un d'eux n'est autre qu'un psychromètre enregistreur; il comprend deux thermomètres enregistreurs Richard disposés comme nous l'avons indiqué (252) et réunis de manière à inscrire leurs indications sur un même cylindre. Un des réservoirs est entouré d'un linge mouillé; on aura donc sur le cylindre

deux courbes donnant à un instant quelconque l'une la température d'un thermomètre sec, l'autre la température d'un thermomètre mouillé. La valeur de l'état hygrométrique s'en déduira comme nous l'avons indiqué.

MM. Richard ont également construit un appareil enregistreur basé sur les variations de longueurs que subissent certaines substances organisées sous l'influence de l'air humide. L'appareil qui consiste à enregistrer des variations de longueur est trop simple pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter.

292. Liquéfaction des corps gazeux. — Les conditions de la liquéfaction des corps gazeux résultent de ce que nous avons rappelé précédemment : si dans un espace porté à une certaine température, il existe une vapeur à une tension supérieure à la tension maxima correspondante à cette température, l'équilibre ne peut pas exister. Une partie de la vapeur passe à l'état liquide, il y a liquéfaction, et celle-ci continue jusqu'à ce que la vapeur qui subsiste ait précisément la tension maxima correspondant à la température du liquide générateur.

Dans ce changement d'état, il n'est pas nécessaire, comme dans la solidification, d'enlever de la chaleur au liquide déjà amené au point de fusion pour produire le passage à l'état solide. La liquéfaction de la vapeur se produit forcément; si on enlève la chaleur qui résulte de cette liquéfaction, on pourra maintenir la température constante; dans le cas contraire, cette chaleur mise en liberté aura pour effet d'élever la température des corps voisins et notamment du liquide générateur.

293. Point critique. — Nous avons dit (69) que la tension maxima d'une vapeur varie avec la température, croissant lorsque celle-ci s'élève et inversement. Il résulte de là que la pression à laquelle il faut soumettre une vapeur pour la liquéfier est d'autant plus considérable que la température est plus élevée. On pensait autrefois que, quelle que fût celle-ci, on pouvait toujours trouver une pression qui amenât la liquéfaction. Les expériences d'Andrews dont nous avons parlé déjà tendraient à montrer qu'il n'en est pas ainsi : il semble en résulter qu'un gaz porté à une température supérieure à une valeur déterminée ne peut être liquéfié, quelque grande que soit la pression employée, ce qui revient à dire que, à partir de cette température, le corps ne peut exister qu'à l'état gazeux. Cette température, qui est une constante spécifique du corps considéré, a reçu le nom de *point critique*.

Le fait que nous signalons paraît certain pour quelques gaz, comme l'acide carbonique dont le point critique est 32°,55 environ; on ne saurait affirmer encore qu'il s'agit là d'une loi absolument générale.

294. Procédés de liquéfaction. — Tous les procédés de liquéfaction d'un gaz ou d'une vapeur consistent à amener ce corps à avoir une tension supérieure à la tension maxima correspondant à sa température.

L'un des procédés consiste à refouler du gaz dans un espace clos, de

manière à augmenter sa tension, soit qu'on le refoule à l'aide d'une pompe (ammoniaque), soit qu'on le produise par une action chimique (acide carbonique, appareil de Thilorier), soit qu'on le dégage d'un corps l'ayant absorbé (tube de Faraday); dans ce cas on agit en augmentant la tension.

On peut, au contraire, abaisser la température, par un procédé quelconque, glace, mélange réfrigérant (liquéfaction du gaz sulfureux) ou en profitant de la détente d'une partie du gaz pour refroidir l'autre partie qui se liquéfie (hydrogène, procédé Cailletet).

Enfin, on peut réunir les deux procédés, augmentation de pression et refroidissement (appareil de Bianchi pour le protoxyde d'azote); l'influence du refroidissement qui maintient une basse température est d'autant plus avantageuse que, par suite de la liquéfaction même, il y a dégagement de chaleur et par suite élévation de température, ce qui rend la liquéfaction plus difficile.

295. — Il va sans dire que les indications que nous venons de donner se rapportent seulement aux cas dans lesquels le gaz est à une température inférieure au point critique, puisque nous avons dit que pour des températures supérieures le gaz ne peut être liquéfié par une simple augmentation de pression; si on veut liquéfier un gaz qui est donné à une température supérieure au point critique, il faut d'abord commencer par le refroidir au-dessous de ce point, c'est alors seulement qu'une augmentation de pression pourra amener le changement d'état.

C'est l'ignorance de cette condition qui a pendant longtemps empêché d'obtenir la liquéfaction des gaz dits alors *permanents*, malgré les fortes pressions auxquelles on les soumettait et malgré le refroidissement qu'on faisait également intervenir et qui ne suffisait pas à abaisser la température au-dessous du point critique. Il a fallu l'emploi des procédés très énergiques de refroidissement de M. Cailletet et de M. Pictet pour faire descendre la température au-dessous de ce point et permettre que l'augmentation de pression pût amener la liquéfaction.

296. **Ébullition.** — Lorsqu'on chauffe un liquide, lorsqu'on lui fournit de la chaleur en quantité suffisante, on observe deux effets : une évaporation plus ou moins rapide, et une élévation de température. Si celle-ci parvient à un degré assez élevé, il se produit, en général, un phénomène nouveau, l'*ébullition* : des bulles de vapeur prennent naissance, au sein du liquide, principalement au point où la source de chaleur agit le plus vivement; ces bulles, à cause de leur faible poids spécifique, s'élèvent dans le liquide et viennent crever à la surface, en produisant une agitation du liquide, et versent dans l'air la vapeur qu'elles contiennent et qui s'ajoute à celle produite par l'évaporation. La vaporisation devient plus rapide.

L'ébullition est soumise aux lois suivantes :

1^{re} loi. — Pour un liquide donné, l'ébullition commence à la tem-

pérature pour laquelle la tension maxima est égale à la pression qui surmonte le liquide. Cette température est appelée point d'ébullition pour la pression considérée.

2^e loi. — Pendant toute la durée de l'ébullition, la température est constante.

Étudions successivement les conséquences de ces lois.

Il résulte de la 1^{re} loi que, pour une pression donnée, l'ébullition commence toujours à la même température : notamment, sous la pression normale de 76^{cm} le point d'ébullition sera donc pour chaque liquide un caractère spécifique. C'est ce point qu'on désigne par convention par l'expression abrégée de *point d'ébullition*.

Comme nous avons dit que la tension maxima d'une vapeur croît avec la température, on en conclut que lorsque la pression varie la température d'ébullition varie dans le même sens, s'élevant quand la pression augmente et inversement.

Il résulte de là que l'ébullition à l'air libre n'a pas lieu à la même température, aux différents points du globe, ni aux différents instants en un même point du globe, puisque la pression atmosphérique varie.

En un point du globe, la pression atmosphérique variant peu, il en sera de même du point d'ébullition. Toutefois ces variations ne sont pas négligeables : à Paris où la pression peut varier à peu près de 73,5 à 77^{cm},1, on voit en se reportant à la table des tensions que la température d'ébullition varie de 99°,1 à 100°,4. Ces différences sont petites, en somme, et négligeables en général. Elles ne le sont pas toujours cependant et, par exemple, il convient d'en tenir compte pour la fixation du point 100 du thermomètre. Le point où s'arrête le mercure du thermomètre dans l'eau bouillante ne représente la température de 100° que si la pression est de 76^{cm}; s'il n'en est pas ainsi, il faut marquer au point d'arrêt la température qui, dans la table des tensions, correspond à la pression observée, et faire la division de l'échelle en conséquence. On peut opérer plus simplement et avec une exactitude suffisante en notant que la variation de tension est de 2^{cm},7 pour 1° à la température de 100° et admettant que pour de petites variations il y a proportionnalité.

297. — Les variations du point d'ébullition entre les différents points du globe sont bien plus considérables, parce que, par suite des différences d'altitude notamment, la pression atmosphérique y prend des valeurs très diverses. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, la pression diminue et le point d'ébullition s'abaisse, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Altitude.	Pression.	Point d'ébullition.
Briançon,.....	1330 ^m	64 ^{cm} ,5	95°,5
Puy de Dôme.....	1465	62 ^{cm} ,9	94°,8
Pic du Midi.....	2877	54	90°,7
Mont Blanc.....	4800	43	84°,5