

on plonge le ballon dans un bain d'eau saturée de sel, ou dans un bain d'huile de pied de bœuf ou d'alliage de d'Arcet, suivant la température d'ébullition du liquide qui est dans le ballon.

Afin de maintenir celui-ci dans le bain, on fixe, sur l'une des anses de la marmite qui le contient, une tige de fer, le long de laquelle peut glisser un support de même métal. Ce support porte deux anneaux entre lesquels est placé le ballon, ainsi que le montre la figure. Sur l'autre anse, une tige semblable à la première porte un thermomètre à poids D.

Ayant plongé le ballon et le thermomètre dans le bain, on chauffe un peu au delà de la température d'ébullition du liquide qui est dans le ballon. La vapeur, en se dégageant par la pointe effilée, chasse l'air qui est dans l'appareil. Au moment où cesse le jet de vapeur, ce qui a lieu lorsque tout le liquide est vaporisé, on ferme à la lampe, avec un chalumeau, la pointe effilée du ballon, en ayant soin de noter aussitôt la température du bain et la hauteur du baromètre. Enfin, lorsque le ballon est refroidi et essuyé avec soin, on le pèse de nouveau, et le poids  $P'$  qu'on obtient représente celui de la vapeur qu'il contient, plus le poids du verre, moins celui de l'air déplacé (167). Pour avoir le poids de la vapeur, il faut donc de  $P'$  retrancher le poids du verre, et ajouter à la différence le poids de l'air déplacé, ce qui sera facile après qu'on aura déterminé le volume du ballon.

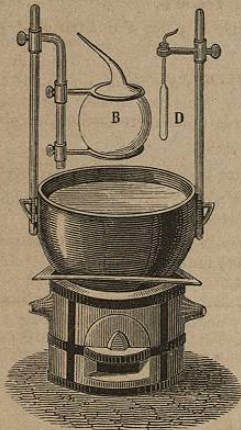


Fig. 247.

Pour cela, on plonge la pointe effilée dans le mercure, et l'on en brise l'extrémité avec une petite pince. Comme la vapeur s'est condensée, le vide s'est fait dans le ballon, d'où il résulte que le mercure s'y précipite par l'effet de la pression atmosphérique, et le remplit complètement si tout l'air en a été expulsé. C'est en versant ensuite, dans une cloche graduée, le mercure qui est entré dans le ballon, qu'on détermine le volume de ce dernier à la température ordinaire. Par le calcul on en déduit facilement le volume du ballon, à la température du bain (278, probl. vi), et, par suite, celui de la vapeur à la même température. Etant ainsi arrivé, par ce procédé, comme par celui de Gay-Lussac, à connaître le poids d'un certain volume de vapeur, à une température et à une pression déterminées, le reste du calcul se fait comme ci-dessus. S'il restait de l'air dans le ballon, celui-ci ne se remplirait pas complètement de mercure, mais le volume du mercure introduit représenterait encore le volume de la vapeur.

*Densités de quelques vapeurs par rapport à l'air.*

|                                   |        |                              |        |
|-----------------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Air . . . . .                     | 1,0000 | Vapeur d'essence de térében- |        |
| Vapeur d'eau . . . . .            | 0,6235 | thine . . . . .              | 5,0130 |
| — d'alcool . . . . .              | 4,6138 | — de mercure . . . . .       | 6,976. |
| — d'éther sulfurique . . . . .    | 2,5860 | — d'iode . . . . .           | 8,716. |
| — de sulfure de carbone . . . . . | 2,6447 |                              |        |

341. **Rapport entre un volume de liquide et celui de sa vapeur.**—La densité d'une vapeur étant connue, on en déduit facilement le volume qu'un poids connu de cette vapeur doit occuper, à l'état de saturation, à une tempéra-

ture donnée. Soit proposé, par exemple, de calculer le volume d'un gramme de vapeur d'eau à 100 degrés et à la pression 0<sup>m</sup>,76.

La densité de la vapeur d'eau, à 100 degrés, étant, par rapport à celle de l'air, 0,6235, on aura le poids d'un litre de vapeur d'eau à 100 degrés et à la pression 0<sup>m</sup>,76, en cherchant le poids d'un litre d'air à la même température et à la même pression, et en multipliant ce poids par 0<sup>m</sup>,6235. Or, on a vu (292, probl. vi) qu'en représentant par  $P'$  le poids d'un litre d'air à  $t$  degrés, par  $P$  le poids du même volume à zéro, et par  $a$  le coefficient de dilatation de l'air, on a

$$P = P'(1 + at); \text{ d'où } P' = \frac{P}{1 + at}.$$

Par conséquent, dans le cas que nous considérons, le poids d'un litre d'air sec, à 100 degrés, est

$$\frac{1^{\text{gr}}, 293}{1 + 0,00367 \times 100} = \frac{1^{\text{gr}}, 293}{1,367} = 0^{\text{gr}}, 946.$$

Par suite, un litre de vapeur saturée, à 100 degrés et à la pression 0<sup>m</sup>,76, pèse  $0^{\text{gr}}, 946 \times 0,6235 = 0^{\text{gr}}, 5898$ .

Pour avoir, à la même température et à la même pression, le volume  $V$  occupé par 1 gramme de vapeur, il n'y a qu'à diviser 1 gr. par 0<sup>gr</sup>,5898; d'où

$$V = 1^{\text{gr}} : 0,5898 = 1695 \text{ centimètres cubes.}$$

En se transformant en vapeur à 100 degrés et à la pression 0<sup>m</sup>,76, l'eau prend donc un volume près de 1700 fois plus grand qu'à l'état liquide.

## CHAPITRE VI.

## HYGROMÉTRIE.

342. **Objet de l'hygrométrie.**—L'hygrométrie a pour objet de déterminer la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air déterminé. Cette quantité est très-variable; mais l'air n'est jamais saturé de vapeur d'eau, du moins dans nos climats. Il n'est non plus jamais complètement sec; car si l'on y expose des substances hygrométriques, c'est-à-dire ayant une grande affinité pour l'eau, comme le chlorure de calcium, l'acide sulfurique, en tout temps ces substances absorbent de la vapeur d'eau.

343. **État hygrométrique.**—L'air n'étant point, en général, saturé, on nomme *état hygrométrique* ou *fraction de saturation* de l'air, le rapport de la quantité actuelle de vapeur d'eau qu'il renferme à la quantité qu'il contiendrait s'il était saturé, la température étant la même dans les deux cas. Le degré d'humidité de l'air ne dépend pas de la quantité absolue de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, mais de la plus ou moins grande distance à laquelle l'air se trouve de l'état de saturation. L'air, lorsqu'il est froid, peut être très-humide avec peu de vapeur, et très-sec, au con-



traire, avec une plus grande quantité, lorsqu'il est chaud. Par exemple, l'air contient, en général, plus d'eau l'été que l'hiver, et cependant il est moins humide, parce que, la température étant plus élevée, la vapeur est plus loin de son point de saturation. De même, lorsqu'on chauffe un appartement, on ne diminue point la quantité de vapeur qui est dans l'air, mais on diminue l'humidité de celui-ci, parce qu'on recule son point de saturation. L'air peut même devenir alors assez sec pour nuire à l'économie animale; c'est pour cela qu'il est bon de placer sur les poêles des vases contenant de l'eau.

Comme la loi de Mariotte s'applique aux vapeurs non saturées de même qu'aux gaz (312), il en résulte qu'à égalité de température et de volume, le poids de la vapeur, dans un espace non saturé, croît comme la pression, et, par conséquent, comme la tension de cette même vapeur. On peut donc, au rapport des quantités de vapeur, substituer celui des forces élastiques correspondantes, et dire que *l'état hygrométrique de l'air est le rapport entre la force élastique de la vapeur d'eau qu'il contient et la force élastique de la vapeur qu'il contiendrait à la même température, s'il était saturé.*

C'est-à-dire qu'en représentant par  $f$  la tension de la vapeur qui est dans l'air, par  $F$  celle de la vapeur saturée à la même température, et par  $E$  l'état hygrométrique, on a  $E = \frac{f}{F}$ , d'où  $f = F \times E$ .

Comme conséquence de la seconde définition ci-dessus, il importe de remarquer que la température ayant varié, l'air peut contenir la même quantité de vapeur, et cependant ne pas avoir le même état hygrométrique. Par exemple, lorsque la température s'élève, la force élastique de la vapeur que contiendrait l'air, à l'état de saturation, croît plus rapidement que la force élastique de la vapeur qui se trouve actuellement dans l'air, et alors le rapport de ces forces, c'est-à-dire l'état hygrométrique, devient plus petit.

On verra bientôt (351) comment de l'état hygrométrique on déduit le poids de la vapeur contenue dans un volume donné d'air.

344. **Différentes espèces d'hygromètres.** — On nomme *hygromètres*, des instruments qui servent à déterminer l'état hygrométrique de l'air. On en a imaginé un fort grand nombre, qu'on peut rapporter à quatre sortes principales : les *hygromètres chimiques*, les *hygromètres à absorption*, les *hygromètres à condensation*, et les *psychromètres*.

La méthode du psychromètre consiste à observer simultanément deux thermomètres, l'un sec et l'autre dont le réservoir est constamment mouillé. De la différence de température qu'ils indiquent

on déduit par le calcul l'état hygrométrique de l'air. Nous ne décrivons pas cet instrument, la formule que son inventeur, M. August, de Berlin, a donnée pour l'appliquer, n'étant pas générale et devant être modifiée suivant les circonstances dans lesquelles se trouve l'appareil.

345. **Hygromètre chimique.** — Le procédé de l'hygromètre chimique consiste à faire passer un volume connu d'air sur une

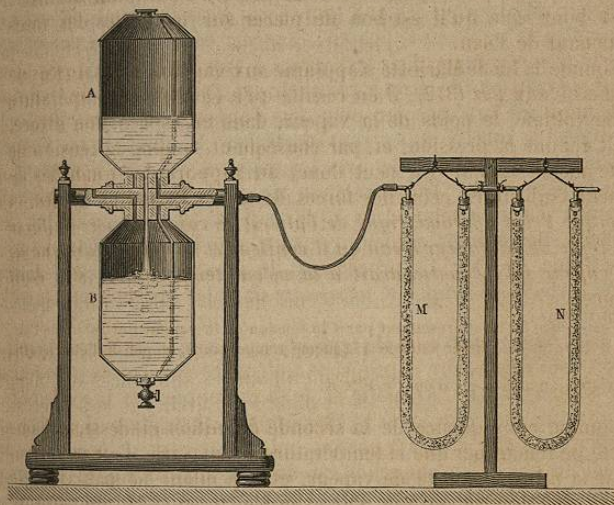


Fig. 248.

substance avide d'eau, sur du chlorure de calcium, par exemple. Ayant pesé la substance avant le passage de l'air et la pesant après, on trouve un excès de poids, qui est celui de la vapeur qui était contenue dans l'air. Pour faire passer à volonté un volume d'air plus ou moins considérable, on dispose l'expérience comme le montre la figure 248. Deux réservoirs de laiton A et B, identiques de construction et de capacité, servent successivement d'aspirateurs. A cet effet, ils sont fixés à un même axe autour duquel on les fait alternativement basculer. De plus, ils communiquent entre eux par une tubulure centrale; tandis que par deux tubulures pratiquées dans l'axe ils sont toujours en communication, le réservoir inférieur avec l'atmosphère, et le supérieur, par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc, avec une série de tubes M,



N, remplis de chlorure de calcium ou de pierre ponce sulfurique. Le premier de ces tubes, N, est destiné à absorber la vapeur d'eau contenue dans l'air aspiré; le second, M, arrête la vapeur qui tend à passer des réservoirs dans le tube N.

Cela posé, le réservoir inférieur étant toujours plein d'eau, et l'autre plein d'air, on fait basculer l'appareil, de manière que le liquide s'écoule lentement de A en B. Le vide se faisant alors en A, l'air rentre par les tubes N, M, dans le premier desquels toute la vapeur est absorbée. Quand toute l'eau s'est écoulée en B, on fait basculer de nouveau l'appareil; le même écoulement recommence et le même volume d'air est aspiré à travers le tube N. En sorte que si la capacité de chaque réservoir est, par exemple, de 10 litres, et qu'on ait fait basculer cinq fois l'appareil, 50 litres d'air ont traversé le tube N et s'y sont desséchés. Si donc, avant l'expérience, on a pesé le tube avec les matières qui sont dedans, et si on le pèse après, l'augmentation de poids donne la quantité de vapeur d'eau contenue dans 50 litres d'air au moment de l'expérience. De ce poids on déduit ensuite, par le calcul, l'état hygrométrique de l'air. Ce procédé est le plus précis, mais il n'offre pas le degré de simplicité nécessaire dans les observations météorologiques.

346. **Hygromètres à absorption.** — Les hygromètres à absorption sont fondés sur la propriété qu'ont les substances organiques de s'allonger par l'humidité et de se raccourcir par la sécheresse. On a imaginé plusieurs hygromètres à absorption. Le plus en usage est l'*hygromètre à cheveu*, ou *hygromètre de Saussure*, du nom du physicien auquel il est dû. Cet instrument se compose d'un cadre de cuivre (fig. 249), sur lequel est tendu un cheveu *c*, dégraissé préalablement dans de l'eau contenant un centième de son poids de sous-carbonate de soude. On peut aussi dégraisser le cheveu en le plongeant dans de l'éther sulfurique pendant vingt-quatre heures, ainsi que l'a fait M. Regnault. Si le cheveu n'était pas dégraissé, il n'absorberait que peu de vapeur, et son allongement serait très-faible, tandis que, débarrassé de toute matière grasse, il s'allonge rapidement en passant de la sécheresse à l'humidité.

Le cheveu *c* est maintenu, à son bout supérieur, par une pince *a* serrée par une vis de pression *d*. Cette pince s'élève ou s'abaisse, pour tendre le cheveu, au moyen d'une vis *b* dont l'érou est fixe. Si le cheveu était noué, il en résulterait une torsion qui rendrait l'allongement irrégulier. A sa partie inférieure, il s'enroule sur une poulie à deux gorges *o*, à laquelle il est fixé. Sur la deuxième gorge s'enroule, en sens contraire du cheveu, un

fil de soie qui supporte un petit poids *p*. Enfin, l'axe de la poulie porte une aiguille qui se meut sur un cadran gradué. Quand le cheveu se raccourcit, la traction qu'il exerce relève l'aiguille; lorsqu'il s'allonge, c'est le poids *p* qui la fait descendre.

Pour former la graduation du cadran, on marque zéro au point où, à la température ordinaire, l'aiguille s'arrête dans de l'air complètement desséché, et 100 au point où elle s'arrête dans de l'air saturé de vapeur d'eau; puis on partage l'intervalle de ces deux points en 100 parties égales, qui sont les degrés de l'hygromètre.

Le zéro, ou le point d'extrême sécheresse, se détermine en plaçant l'hygromètre sous une cloche de verre dont on dessèche l'air en y renfermant des substances très-avides d'eau, comme du chlorure de calcium ou du carbonate de potasse calciné. L'air de la cloche perd son humidité, et, par suite, le cheveu se raccourcit et fait tourner la poulie et son aiguille, mais très-lentement. Au bout de quinze à vingt jours seulement, l'aiguille devient stationnaire, ce qui indique que l'air de la cloche est complètement desséché. On marque alors zéro sur le cadran, au point correspondant à l'aiguille.

On obtient la position du point d'extrême humidité, en retirant les matières desséchantes de la cloche, et en mouillant ses parois avec de l'eau distillée. Celle-ci, en se vaporisant, sature bientôt l'air de la cloche, et le cheveu s'allonge rapidement. Le petit poids, dont le fil s'enroule sur la poulie en sens contraire du cheveu, fait alors tourner l'aiguille à l'opposé du zéro. En moins de deux heures elle redevient ainsi stationnaire, et l'on marque alors 100 au point où elle s'arrête.

D'après Saussure, un cheveu tendu par un poids de 3 décigrammes s'allonge, de zéro à 100, de  $\frac{1}{46}$  de sa longueur, qui est d'environ 20 centimètres. Les cheveux blonds paraissent être ceux dont l'allongement est le plus régulier.

On néglige la dilatation qu'éprouve le cheveu par les variations de température, parce qu'on a reconnu que pour une différence de 33 degrés dans la température de l'air, l'allongement du cheveu ne fait varier l'aiguille que des  $\frac{2}{3}$  d'un degré de l'hygromètre. Abstraction faite de cette faible dilatation, on observe que, quelle que soit la température, l'aiguille de l'hygromètre revient toujours exacte-

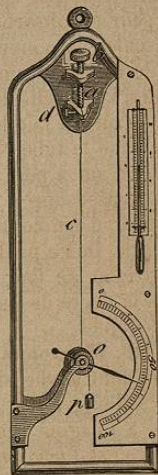


Fig. 249 (h = 27).



ment au zéro dans l'air parfaitement sec, et à 100 dans l'air saturé. La fixité de ce dernier point montre que, dans l'air saturé, le cheveu absorbe toujours la même quantité d'eau, quelles que soient la température et la densité de la vapeur.

Les hygromètres à cheveu offrent plusieurs inconvénients. Construits avec des cheveux d'espèces différentes, leurs indications peuvent varier de plusieurs degrés, quoique d'accord aux deux points extrêmes. De plus, un même hygromètre ne reste pas comparable à lui-même, parce que le cheveu s'allonge par la tension prolongée du poids qu'il supporte. C'est pourquoi le meilleur système de graduation est un cadran entier, à zéro arbitraire, sur lequel on détermine de temps en temps la position des points d'extrême sécheresse et d'extrême humidité. En satisfaisant à ces conditions, l'hygromètre à cheveu présente encore l'inconvénient de ne pas donner immédiatement l'état hygrométrique de l'air. Nous allons faire connaître une table que Gay-Lussac a construite pour déduire l'état hygrométrique de l'air des indications de l'hygromètre à cheveu.

347. **Table de correction par Gay-Lussac.** — L'expérience démontre que les indications de l'hygromètre à cheveu ne sont point proportionnelles à l'état hygrométrique de l'air. Par exemple, lorsque l'aiguille marque 50 degrés, nombre qui correspond au milieu du cadran, l'air est loin d'être à moitié saturé. Il a donc fallu trouver expérimentalement l'état hygrométrique correspondant à chaque degré de l'instrument. Gay-Lussac a résolu ce problème en se fondant sur ce principe, que les vapeurs fournies par une dissolution saline ou acide ont une tension maximum d'autant plus faible, pour une même température, que la quantité de sel ou d'acide dissous est plus considérable (316).

Ce savant plaçait l'hygromètre à cheveu sous une cloche dans laquelle était un mélange d'eau et d'acide sulfurique, et il notait le degré de l'hygromètre lorsque l'air de la cloche était saturé. Pour obtenir ensuite la tension de la vapeur sous la cloche, il faisait passer dans le vide d'un baromètre quelques gouttes de la même dissolution acide qui était sous la cloche. La dépression du mercure dans le baromètre lui donnait alors la tension de la vapeur dans la cloche, puisqu'à l'état de saturation et à température égale, la force élastique d'une vapeur est la même dans le vide que dans l'air (336, 1°). Cherchant enfin, dans les tables des forces élastiques (page 292), la tension de la vapeur saturée, à la température de l'air sous la cloche, il avait les deux termes du rapport qui représentait l'état hygrométrique de l'air (343) correspondant au degré marqué par l'hygromètre. C'est en répétant ce mode

d'expérience avec des dissolutions acides plus ou moins concentrées, et à la température de 10 degrés, que Gay-Lussac a trouvé dix termes de la table suivante; les autres termes ont ensuite été déterminés par Biot, à l'aide de formules d'interpolation.

*États hygrométriques correspondants aux degrés de l'hygromètre à cheveu à la température de 10 degrés.*

| DEGRÉS<br>DE L'HYGROMÈTRE. | ÉTATS<br>HYGROMÉTRIQUES. | DEGRÉS<br>DE L'HYGROMÈTRE. | ÉTATS<br>HYGROMÉTRIQUES. |
|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 0                          | 0,000                    | 55                         | 0,318                    |
| 5                          | 0,022                    | 60                         | 0,363                    |
| 10                         | 0,046                    | 65                         | 0,414                    |
| 15                         | 0,070                    | 70                         | 0,472                    |
| 20                         | 0,094                    | 72                         | 0,500                    |
| 25                         | 0,120                    | 75                         | 0,538                    |
| 30                         | 0,148                    | 80                         | 0,612                    |
| 35                         | 0,177                    | 85                         | 0,696                    |
| 40                         | 0,208                    | 90                         | 0,791                    |
| 45                         | 0,241                    | 95                         | 0,891                    |
| 50                         | 0,278                    | 100                        | 1,000                    |

La table ci-dessus fait voir que ce n'est qu'à 72 degrés que l'air est à moitié saturé. Comme c'est à ce point que correspond le plus souvent l'aiguille de l'hygromètre, à la surface du sol, on en conclut que l'air contient, en moyenne, la moitié de la vapeur qu'il contiendrait s'il était saturé. Dans nos climats, l'hygromètre ne descend jamais jusqu'à 100 degrés, même après les pluies les plus abondantes. Pendant les plus grandes sécheresses, il monte rarement au delà de 30 degrés. Lorsqu'on s'élève dans l'atmosphère, il marche, en général, vers zéro.

Selon Gay-Lussac, sa table de graduation était applicable à tous les hygromètres à cheveu, mais M. Regnault a reconnu que les indications de ces instruments varient avec l'origine des cheveux, leur couleur, leur finesse, le mode de dégraissage; en sorte que, pour obtenir des indications précises, il faut une table particulière pour chaque hygromètre; ce qui fait voir combien ces instruments sont incomplets, et tout ce que leur usage offre d'incertitude et de difficulté.

\* 348. **Hygromètre à condensation de Daniell.** — Les hygromètres à condensation ont pour but de faire connaître, par le refroidissement de l'air, à quelle température la vapeur qu'il con-



tient serait suffisante pour le saturer : tels sont l'hygromètre de Daniell et celui de M. Regnault.

L'hygromètre de Daniell se compose de deux boules de verre réunies par un tube deux fois recourbé (fig. 250). La boule A est aux deux tiers remplie d'éther, dans lequel plonge un petit thermomètre renfermé dans le tube. Les deux boules et le tube sont complètement purgés d'air, ce qui s'obtient en faisant bouillir

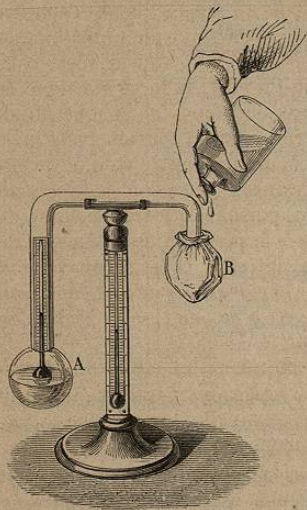


Fig. 250 (h = 18).

l'éther qui est dans la boule A, tandis que la boule B est encore ouverte, et en fermant celle-ci à la lampe lorsqu'on juge que les vapeurs d'éther ont entraîné tout l'air, de sorte que le tube et la boule B ne contiennent que de la vapeur d'éther.

La boule B étant enveloppée de mousseline, on verse dessus, goutte à goutte, de l'éther. Ce liquide, en se vaporisant, refroidit la boule (328) et condense les vapeurs qu'elle contient. La tension intérieure étant alors diminuée, l'éther de la boule A donne aussitôt de nouvelles vapeurs qui viennent se condenser de même dans l'autre boule, et ainsi de suite. Or, à mesure que le liquide distille ainsi de la boule inférieure à la boule supérieure, l'éther qui est dans

la première se refroidit, et il vient un moment où l'air qui est en contact avec la boule A, et qui se refroidit avec elle, atteint la température à laquelle la vapeur d'eau qu'il contient est suffisante pour le saturer. Cette vapeur se condense alors, et l'on voit se déposer sur la boule A une couche de rosée sous la forme d'un anneau qui entoure la surface du liquide : c'est là, en effet, que se produit surtout le refroidissement dû à l'évaporation. Le thermomètre intérieur indique, à cet instant, la température du point de rosée, c'est-à-dire la température de saturation de l'air ambiant.

Pour obtenir ce point avec plus d'approximation, on observe la température au moment où la vapeur précipitée disparaît par le réchauffement, et l'on prend la moyenne entre cette température et celle de la précipitation. Il est bon que, pendant cette expé-

rience, l'hygromètre soit placé dans un courant d'air, sur une fenêtre ouverte, par exemple, afin que l'évaporation de l'éther sur la mousseline soit plus rapide. Enfin, pour rendre plus visible le dépôt de rosée, on construit ordinairement la boule A en verre noir. Quant à la température de l'air, elle est donnée par un thermomètre placé sur le pied même de l'appareil.

L'hygromètre de Daniell ayant ainsi fait connaître la température à laquelle l'air serait saturé, il s'agit d'en déduire l'état hygrométrique. Pour cela, observons que, dans un espace libre qui contient un mélange d'air et de vapeur à la pression atmosphérique, lorsque la température baisse, la force élastique de la vapeur reste constante jusqu'au point de saturation. En effet, la force élastique du mélange égale la somme des forces élastiques de chaque fluide (336, 2°); or, pendant que l'air se refroidit, sa tension reste invariable, car elle augmente autant par la diminution de volume qu'elle décroît par l'abaissement de température. La tension de la vapeur doit donc aussi demeurer invariable, puisque la force élastique du mélange reste nécessairement égale à la pression de l'atmosphère, après le refroidissement comme avant. Par conséquent, *lorsque l'air se refroidit, la tension de la vapeur qu'il contient reste constante jusqu'au point de saturation, et, à ce point, cette tension est la même qu'avant le refroidissement.*

D'après ce principe, si l'on cherche, dans les tables des forces élastiques, la tension  $f$  correspondante à la température du point de rosée, cette tension sera précisément celle que possède la vapeur d'eau qui est dans l'air au moment de l'expérience. Si donc on cherche, dans les mêmes tables, la tension  $F$  de la vapeur saturée, à la température de l'air, le quotient de la tension  $f$  divisée par la tension  $F$  représentera l'état hygrométrique de l'air (343). Par exemple, la température de l'air étant 15 degrés, supposons que le thermomètre de la boule A marque 5 degrés au moment où se fait le dépôt de rosée. En cherchant, dans les tables des forces élastiques, les tensions correspondantes à 5 degrés et à 15 degrés, on trouve  $f$  égale à 6<sup>mm</sup>,534, et  $F$  égale à 12<sup>mm</sup>,699; ce qui donne 0,514 pour le rapport de  $f$  à  $F$ , ou pour l'état hygrométrique.

L'hygromètre de Daniell offre plusieurs causes d'erreur : 1° l'évaporation dans la boule A ne refroidissant le liquide qu'à la surface, le thermomètre qui y plonge ne peut donner avec précision la température du point de rosée; 2° l'observateur, se tenant auprès de l'appareil, modifie l'état hygrométrique de l'air ambiant, ainsi que sa température.

\* 349. **Hygromètre de M. Regnault.** — M. Regnault a construit



un hygromètre à condensation qui ne présente pas les causes d'erreur qu'on rencontre dans celui de Daniell. Cet instrument se compose de deux dés d'argent, à parois minces et polies, de 45 millimètres de hauteur et 20 de diamètre (fig. 251). Dans ces dés s'ajustent deux tubes de verre D et E. Chacun d'eux contient un thermomètre très-sensible fixé à l'aide d'un bouchon. Le bouchon

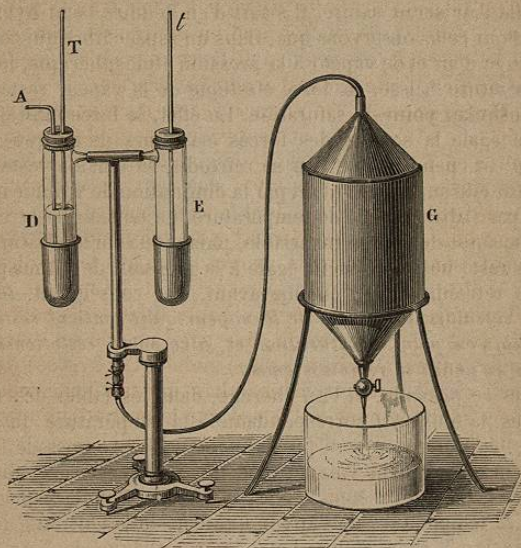


Fig. 251 (h = 40).

du tube D est traversé par un tube A ouvert à ses deux bouts et plongeant jusqu'au fond du dé. Enfin, le tube D est mis en communication par le pied même du support et par un tuyau de plomb avec un aspirateur G rempli d'eau. Le tube E ne communique pas avec l'aspirateur; il contient seulement un thermomètre destiné à faire connaître la température de l'air au moment de l'expérience.

Pour faire fonctionner l'hygromètre de M. Regnault, on verse de l'éther dans le tube D, jusqu'à moitié environ, puis on ouvre le robinet de l'aspirateur. L'eau qui remplit celui-ci s'écoule, et l'air se raréfie dans le tube D. Par l'effet de la pression atmosphérique, de l'air rentre alors par le tube A; mais comme cet air ne peut pénétrer dans le tube D et dans l'aspirateur qu'en passant au tra-

vers de l'éther, il vaporise une partie de ce liquide, et le refroidit ainsi d'autant plus vite que l'écoulement est plus rapide. Il vient un moment où le refroidissement détermine sur le dé un dépôt de rosée, de même que dans l'hygromètre de Daniell; le thermomètre T donnant alors la température correspondante, on a les éléments nécessaires pour calculer l'état hygrométrique.

Dans cet instrument, toute la masse d'éther est à la même température, à cause de l'agitation que lui imprime le courant d'air; de plus, les observations se font à distance au moyen d'une lunette; de cette manière toute cause d'erreur est écartée.

350. **Hygrosopes.** — On nomme *hygrosopes*, des appareils qui indiquent bien s'il y a plus ou moins de vapeur d'eau dans l'air, mais qui n'en font pas connaître la quantité. On en construit de plusieurs sortes: les plus employés sont ceux auxquels on donne la forme de petits personnages dont la tête se couvre ou se découvre d'un capuchon, selon que l'air est plus ou moins humide. Ces instruments sont fondés sur la propriété qu'ont les cordes et les boyaux tordus de se détordre par l'action de l'humidité, et de se tordre davantage par la sécheresse. Leurs indications sont dues à un petit bout de boyau tordu, fixé par l'une de ses extrémités, tandis que l'autre s'attache à la pièce mobile. Ces hygrosopes sont paresseux, c'est-à-dire que, ne marchant que très-lentement, leurs indications sont toujours en retard sur les variations hygrométriques de l'air; de plus, ils sont fort peu sensibles.

351. **Problèmes sur l'hygrométrie.** — I. Calculer le poids de la vapeur d'eau contenue dans un volume d'air V, à la température t, l'hygromètre à cheveu marquant m degrés, et la densité de la vapeur étant  $\frac{5}{8}$ .

Au moyen de la table de Gay-Lussac (347), on trouve l'état hygrométrique E correspondant à m degrés de l'hygromètre, et dans les tables des forces élastiques (page 292), on trouve la tension F de la vapeur saturée à t degrés; par suite, l'égalité  $f = F \times E$  (343) fait connaître la force élastique f de la vapeur dont on cherche le poids.

Cela posé, un litre d'air à zéro et à la pression 76 pesant 1<sup>re</sup>,293, son poids à t degrés et à la pression f est  $\frac{1^{re},293 \times f}{(1 + \alpha t) 76}$  (292, prob. vi). Par suite, 1 litre de vapeur, dont la densité est  $\frac{5}{8}$ , pèse, à la même température et à la même pression,  $\frac{1^{re},293 \times f \times 5}{(1 + \alpha t) 76 \times 8}$ . Donc, enfin, le poids de la vapeur contenue dans V litres d'air à t degrés, l'état hygrométrique étant E, est  $\frac{1^{re},293 \times V \times f \times 5}{(1 + \alpha t) 76 \times 8}$ , valeur qui est indépendante de la pression atmosphérique.

II. Calculer le poids P d'un volume d'air humide V, dont l'état hygrométrique est E, la température t et la pression H, la densité de la vapeur étant les  $\frac{5}{8}$  de celle de l'air.



Pour résoudre ce problème, il faut observer que le volume donné d'air n'est autre chose, d'après la deuxième loi des mélanges des gaz et des vapeurs, qu'un mélange de  $V$  litres d'air sec à  $t$  degrés et à la pression  $H$  moins celle de la vapeur, et de  $V$  litres de vapeur à  $t$  degrés et à la tension donnée par l'état hygrométrique; c'est donc séparément le poids de l'air et celui de la vapeur qu'il s'agit de trouver.

Or, la formule connue  $f = F \times E$  (343) sert à calculer la tension  $f$  de la vapeur qui est dans l'air, puisque  $E$  est donné et que  $F$  se trouve dans les tables des forces élastiques. La tension  $f$  une fois connue, si l'on appelle  $f'$  la tension de l'air, on a  $f + f' = H$ , d'où  $f' = H - f = H - FE$ .

La question est donc ramenée à calculer le poids de  $V$  litres d'air sec à  $t$  degrés et à la pression  $H - FE$ , puis celui de  $V$  litres de vapeur aussi à  $t$  degrés, mais à la pression  $FE$ .

Or, on sait que  $V$  litres d'air sec à  $t$  degrés et à la pression  $H - FE$  pèsent  $\frac{1^{\text{er}}, 293 V (H - FE)}{(1 + \alpha t) 76}$  (292, prob. vi), et l'on a vu dans le problème précédent que

$V$  litres de vapeur, à  $t$  degrés et à la pression  $FE$ , pèsent  $\frac{1^{\text{er}}, 293 V \times FE \times \frac{5}{8}}{(1 + \alpha t) 76 \times 8}$ ;

donc, enfin, faisant la somme des deux poids obtenus et réduisant, on a

$$P = \frac{1^{\text{er}}, 293 V \left( H - \frac{3}{8} FE \right)}{(1 + \alpha t) 76} [A].$$

Si l'air était saturé, on aurait  $E = 1$ , et alors cette formule se changerait en celle déjà trouvée pour les mélanges des gaz et des vapeurs saturées (337, prob. iii).

Si  $V = 1$  litre,  $P$  représente le poids d'un litre d'air à la température  $t$ , à la pression  $H$ , et à l'état hygrométrique  $E$ ; c'est-à-dire la quantité  $a$  qui entre dans les formules données précédemment pour la correction des poids spécifiques des solides et des liquides (290).

La formule [A] contenant, outre le poids  $P$ , plusieurs quantités variables  $V, E, H, t$ , on peut, en prenant successivement chacune de ces quantités pour inconnue, se proposer autant de problèmes dont on obtiendrait la solution en résolvant l'équation [A] par rapport à  $V$ , à  $E$ , à  $H$  ou à  $t$ . On va en voir un exemple dans la question suivante.

III. Calculer, à  $t$  degrés et à la pression  $H$ , le volume d'un poids d'air  $P$  dont l'état hygrométrique est  $E$ , la densité de la vapeur étant  $\frac{5}{8}$ , et sa tension maximum  $F$  à  $t$  degrés étant connue par les tables des forces élastiques.

Résolvant par rapport à  $V$  l'équation [A] du problème précédent, on trouve

$$V = \frac{P (1 + \alpha t) 76}{1^{\text{er}}, 293 \left( H - \frac{3}{8} FE \right)} [B]$$

On peut aussi résoudre ce problème directement. Pour cela, le poids  $P$  étant un mélange d'air sec à  $t$  degrés et à la pression  $H - FE$ , et de vapeur à  $t$  degrés et à la pression  $FE$ , soient  $x$  le poids de l'air et  $y$  le poids de la vapeur; d'après l'énoncé, on a  $x + y = P$  [1]. Mais la densité de la vapeur étant les  $\frac{5}{8}$  de celle de l'air,  $y$  doit évaluer les  $\frac{5}{8}$  de  $x$  à pression égale. Or, le volume d'air cherché pesant  $x$  à la pression  $H - FE$ , son poids à la pression  $FE$ , qui est celle de la vapeur,

n'est plus que  $\frac{x \times FE}{H - FE}$ ; donc,  $y = \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE}$ .

Portant cette valeur dans l'équation [1], il vient

$$x + \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE} = P, \text{ d'où } x = \frac{P (H - FE)}{H - \frac{3}{8} FE}.$$

Le poids de l'air une fois connu, on aura son volume en litres en cherchant combien de fois ce poids contient celui d'un litre d'air à  $t$  degrés et à la pression  $H - FE$ . Or, 1 litre d'air à zéro et à la pression 76 pesant  $1^{\text{er}}, 293$ , son poids à

$t$  degrés et à la pression  $H - FE$  est  $\frac{1^{\text{er}}, 293 (H - FE)}{(1 + \alpha t) 76}$ . Donc, enfin,

$$V = \frac{P (H - FE)}{H - \frac{3}{8} FE} : \frac{1^{\text{er}}, 293 (H - FE)}{(1 + \alpha t) 76} = \frac{P (1 + \alpha t) 76}{1^{\text{er}}, 293 \left( H - \frac{3}{8} FE \right)},$$

formule qui est la même que la formule [B] obtenue ci-dessus.

## CHAPITRE VII.

### CALORIMÉTRIE, THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR.

332. **Objet de la calorimétrie, calorie.** — L'objet de la *calorimétrie* est de mesurer la quantité de chaleur que les corps cèdent ou absorbent lorsque leur température s'abaisse ou s'élève d'un nombre de degrés connu, ou lorsqu'ils changent d'état.

On ne peut mesurer la quantité absolue de chaleur perdue ou gagnée par un corps, mais seulement la quantité relative, c'est-à-dire le rapport entre la quantité absolue perdue ou gagnée par le corps et celle que perd ou absorbe un autre corps pour produire le même effet; c'est pourquoi on est convenu de prendre pour *unité de chaleur*, ou *calorie*, la quantité de chaleur nécessaire pour élever de zéro à 1 degré la température d'un kilogramme d'eau.

333. **Calorique spécifique.** — On appelle *calorique spécifique*, ou *capacité calorifique* d'un corps, la quantité de chaleur qu'il absorbe, lorsque sa température s'élève de zéro à 1 degré, comparativement à celle qu'absorberait, dans le même cas, un égal poids d'eau; ce qui revient à prendre pour unité le calorique spécifique de l'eau.

On constate facilement que tous les corps n'ont pas le même calorique spécifique. Si l'on mélange, par exemple, un kilogramme de mercure à 100 degrés avec un kilogramme d'eau à zéro, on observe que la température du mélange est seulement de 3 degrés environ. C'est-à-dire que, le mercure s'étant refroidi de 97 degrés, la quantité de chaleur qu'il a perdue n'échauffe que de 3 degrés le même poids d'eau. L'eau absorbe donc, à poids égal, environ 32 fois plus de chaleur que le mercure, pour une même élévation de température.

Trois méthodes ont été employées pour la détermination des caloriques spéci-