

arrive par le tube G, traverse le régulateur H et en sort par un tube de caoutchouc qui l'amène au bec I. La figure 101 permet de se rendre compte

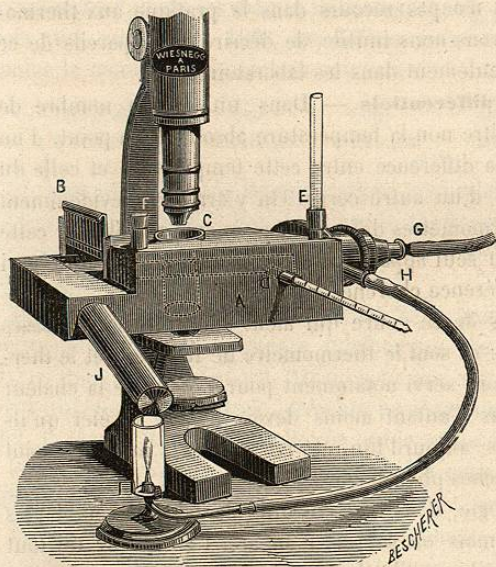


Fig. 100.

du mode d'action du régulateur : on voit que la caisse métallique présente deux ouvertures, l'une supérieure dans laquelle pénètre un tube de verre vertical *g*; et une ouverture latérale, qui est fermée par une lame verticale mince, souple, élastique qui porte en son centre un bout de tube dans lequel pénètre librement l'extrémité de l'ajutage *a* par lequel arrive le gaz. Celui-ci, avant de sortir en *b*, doit donc passer par l'espace compris entre le bout de tube, la membrane et l'ajutage, et son mouvement sera d'autant moins facile, son écoulement d'autant moins

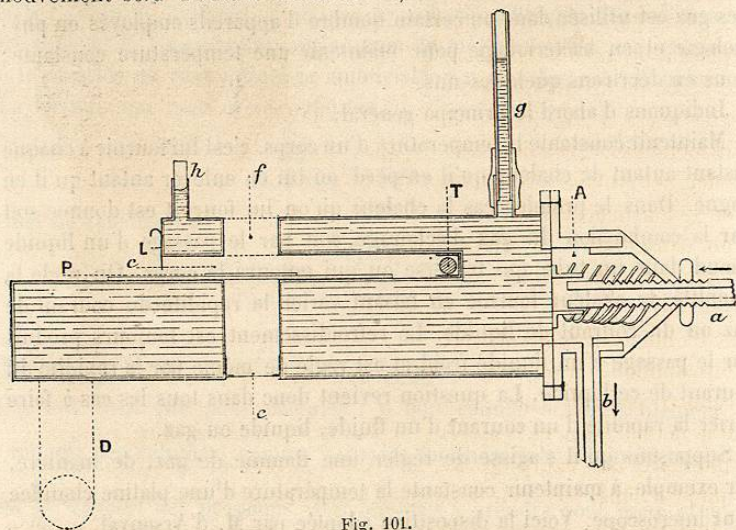


Fig. 101.

rapide que cet espace sera plus resserré, ce qui se produira lorsque la membrane viendra à bomber vers l'intérieur du régulateur.

L'appareil étant à une température déterminée, si celle-ci vient à s'élever, le liquide se dilatera, son niveau montera en *g* et la pression qu'il exerce s'accroîtra : la membrane sera donc déformée, l'écoulement du gaz sera moins rapide et la flamme s'abaissera, ce qui diminuera la quantité de chaleur fournie à l'appareil. Si la température s'abaisse, les effets seront inverses, la membrane reviendra à sa position primitive, l'écoulement de gaz deviendra plus rapide et la flamme fournira plus de chaleur.

On conçoit que l'appareil, recevant moins de chaleur dès que sa température s'élève, en recevant plus dès que sa température s'abaisse, sera dans une condition telle que la température oscillera très peu autour d'une valeur moyenne : la grandeur des oscillations dépend des variations de forme plus ou moins grandes de la membrane élastique, c'est-à-dire, d'une part, de son élasticité même, d'autre part des variations de pression qui sont liées à la grandeur de la section du tube *g*; on peut donc rendre ces oscillations de la température aussi petites qu'on le veut, c'est-à-dire obtenir une température constante au point de vue pratique.

On détermine la valeur de la température fixe que règle la température en déplaçant le tube *a* d'arrivée du gaz, de manière à l'éloigner ou à le rapprocher de la membrane élastique; à cet effet, cet ajutage est fileté et en le tournant dans un sens ou dans l'autre on arrive à l'amener à la position convenable.

La même disposition peut être appliquée à une étuve : celle-ci présente (fig. 102) une double paroi et l'espace annulaire est rempli de liquide. Le gaz arrive en 4, traverse le régulateur 7 qui présente la disposition que nous venons de décrire, sort par l'ajutage 5 et est conduit par un tube de caoutchouc à l'ajutage 6 qui alimente une couronne de becs de gaz : les déformations de la membrane élastique 2 sont produites par

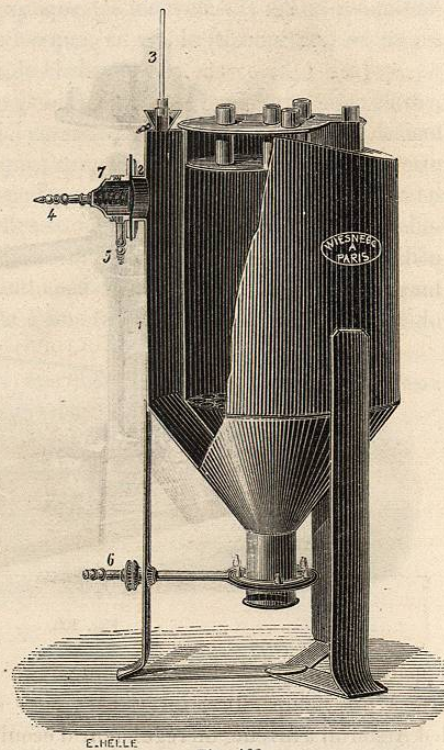


Fig. 102.

les variations du niveau du liquide dans le tube 3. Les effets sont absolument les mêmes.

On conçoit qu'une disposition analogue pourrait être appliquée au cas où la source de chaleur serait un liquide chaud traversant l'appareil : le liquide arriverait en 4, passerait dans un régulateur construit sur le même principe et sortant par 5 pénétrerait dans l'appareil.

On a construit des régulateurs à gaz de modèles différents et que nous ne pouvons décrire en détail : le principe consiste généralement à obturer en partie le passage du gaz à l'aide d'une colonne de mercure dont l'extrémité supérieure se déplace sous l'influence, soit d'une masse de mercure, soit d'une masse d'air, soumise l'une ou l'autre aux mêmes variations de température que le corps dont on veut maintenir la température constante.

250. — En décrivant le calorimètre d'Arsonval, nous avons dit que

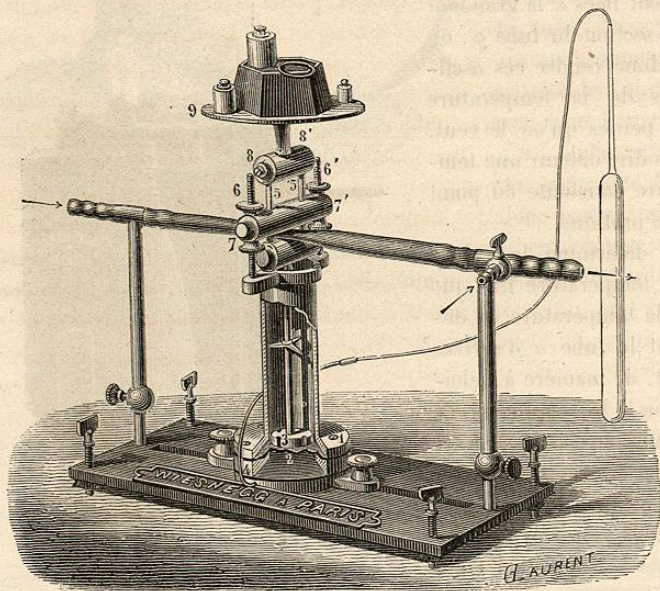


Fig. 103.

l'appareil est réglé de telle sorte que l'eau qui a traversé le serpentín sorte à une température invariable : pour satisfaire à cette condition, M. d'Arsonval a inventé un régulateur d'écoulement dont voici le principe.

Le liquide dont on veut régler l'écoulement traverse à sa sortie un tube de caoutchouc qui passe entre un cylindre de butée fixe 7. 7' (fig. 103) et un cylindre situé au-dessous. Ce dernier est relié par une tige verticale à une pièce métallique 3 qui repose sur une membrane élastique 2 qui constitue la paroi supérieure d'une cavité qui communique par un

tube avec un réservoir en verre, contenant de l'air, et placé dans le liquide dont on veut régler l'écoulement. On règle l'appareil pour que la paroi 2 reste abaissée quand le liquide est à la température voulue ; mais si sa température est plus élevée, le gaz se dilate, la membrane 2 est soulevée entraînant la tige verticale et le cylindre inférieur qui vient écraser le tube de caoutchouc contre 7.7' et arrête l'écoulement qui recommence lorsque le réservoir est revenu à la température primitive.

Des poids placés sur un plateau relié aux pièces mobiles permettent de faire varier la sensibilité de l'appareil.

Si le tube de caoutchouc est placé entre le cylindre 7.7' et un cylindre 8.8' relié aux pièces mobiles, l'appareil fonctionne en sens inverse, c'est-à-dire qu'il arrête l'écoulement tant que la température du liquide est inférieure à une valeur déterminée

251. **Courants dans les fluides chauffés. Convection.** — La dilatation des liquides et des gaz explique les mouvements qui se produisent dans les masses de ces fluides lorsque, en un de leurs points, se trouve un corps chaud ou une source de chaleur.

Par son contact avec ce corps porté à une température plus élevée, par conduction, la masse qui l'entoure s'échauffe, se dilate et devient plus légère que les couches qui l'entourent, elle s'élève alors en vertu de cette différence de poids spécifique (LXII) ; elle est remplacée par les couches voisines pour lesquelles le même effet se produit lorsqu'elles arrivent au contact du corps chaud et qui s'élèvent à leur tour : l'action se continue donc et il se produit au-dessus du corps chaud un courant qui dure tant que le corps reste à une température supérieure à celle du milieu fluide qui l'entoure.

Si l'action se produit dans une masse liquide ou dans une masse gazeuse placée dans une enceinte close, il se produit nécessairement à une distance plus ou moins grande de ce courant ascendant un courant descendant pour remplacer, à la partie inférieure, l'air qui s'est ainsi élevé.

Naturellement, des effets absolument inverses se produisent si le corps chaud est remplacé par un corps plus froid que le milieu où il se trouve ; il se produit au-dessous de ce corps un courant descendant et, à distance, un contre-courant ascendant.

Une expérience simple met le fait en évidence pour les liquides ; dans un vase cylindrique C (fig. 104) on introduit de l'eau dans laquelle on a

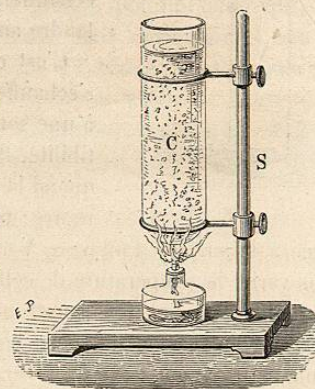


Fig. 104.

jeté une poussière ayant à peu près le même poids spécifique, de la sciure de bois, par exemple. On chauffe ce vase en un point de la paroi inférieure et les mouvements de la sciure de bois indiquent nettement l'existence d'un courant ascendant au-dessus du point chauffé, de courants descendants vers les parois latérales.

On peut faire la même expérience en plaçant un corps chaud dans l'air et y projetant une poussière fine, de la craie finement pulvérisée, par exemple, et l'on observe des courants analogues. Pour les rendre nettement visibles, il est bon d'opérer dans une salle obscure et d'éclairer la partie située au-dessus du corps chaud à l'aide d'un faisceau lumineux un peu intense.

L'existence du courant ascendant au-dessus d'un poêle allumé ou dans le voisinage de son tuyau de fumée est aussi mise en évidence par le jeu d'enfant qui consiste à suspendre en ces endroits, des surfaces hélicoïdales obtenues en découpant une spirale dans une feuille de papier et la posant par son centre sur une tige pointue faisant pivot. On sait que l'hélicoïde se met à tourner d'une manière continue, et l'observation montre aisément que le sens de la rotation est bien celui qui correspond à l'action d'une force dirigée de bas en haut et due à la pression exercée par le courant ascendant.

Un des effets principaux dus à l'existence des courants ainsi produits dans les milieux fluides est la propagation de la chaleur par *convection*. Comme nous l'avons déjà indiqué (205) la couche en contact

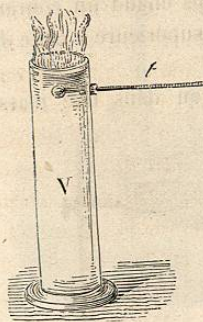


Fig. 105.

avec le corps chaud lui prend une certaine quantité de chaleur qu'elle perd plus tard par son contact avec les couches froides qu'elle traverse, avec les corps qu'elle rencontre, de manière à échauffer nécessairement ces diverses parties et à tendre ainsi à produire l'équilibre de température.

C'est ce qui explique la rapidité avec laquelle s'échauffe un liquide soumis à sa partie inférieure à une source de chaleur, malgré sa faible conductibilité, tandis que l'échauffement est presque nul quand la source de chaleur est à la partie supérieure; par exemple une couche d'alcool enflammée à la surface d'un vase V (fig. 105) rempli d'eau ne fait presque

pas varier la température de celle-ci.

Les effets sont tout aussi nets dans l'air; les courants ascendants arrivent ainsi à échauffer les couches d'air supérieur, si bien que dans une chambre où existe un foyer de chaleur, la température est notablement plus élevée près du plafond qu'à la partie inférieure.

Mais dans ce cas, si l'on est en hiver, les vitres refroidies par leur contact avec l'atmosphère extérieure déterminent le refroidissement de

l'air qui les touche et produisent, comme nous l'avons expliqué, un courant descendant d'air froid; cela explique la formation de ces nappes glaciales qui rendent désagréable le voisinage des fenêtres. Pour obvier à cet inconvénient on a proposé une disposition qui a été employée et qui a donné de bons résultats; la source de chaleur, constituée par des tuyaux dans lesquels circulent de l'eau chaude, de l'air chaud ou de la vapeur, est placée précisément au-dessous des fenêtres et s'oppose efficacement à la production de cette nappe. On arrive ainsi à une meilleure répartition de la chaleur dans la salle.

On ne peut pas évaluer avec quelque précision l'action refroidissante de ces phénomènes de convection, car ils sont très variables suivant les circonstances; mais on peut dire d'une manière générale qu'ils sont notables.

252. **Tirage des cheminées.** — Si les phénomènes dont nous venons de parler se produisent dans un tuyau, principalement dans le cas des gaz, le courant ascendant produit est plus intense parce que la masse d'air qui s'élève se refroidit moins rapidement, puisqu'elle est séparée des couches ambiantes: il y a alors entre l'intérieur et l'extérieur une différence de pression qui est d'autant plus grande que le tube est plus élevé. L'appel d'air par la partie inférieure est considérable, il y a *tirage* suivant l'expression consacrée.

C'est l'effet qui se passe dans les lampes diverses (gaz, huile, pétrole) dans lesquelles la flamme est entourée d'une cheminée en verre: le tirage qui se produit amène au contact de la flamme une grande quantité d'air qui assure la combustion complète du combustible et produit une meilleure utilisation de celui-ci au point de vue du rendement lumineux.

C'est aussi l'effet qui se produit dans les cheminées et dans les poêles, effet qui amène sur le combustible une grande quantité d'air qui, au moins pour les poêles, peut être nécessaire pour entretenir et activer la combustion, et qui a en outre l'avantage d'entraîner et de rejeter les produits de la combustion au dehors. En même temps ce tirage produit un appel d'air froid par toutes les ouvertures, prévues ou accidentelles, et entraîne l'air de la salle, produisant ainsi une ventilation, souvent énergique, et toujours utile.

Si, par une disposition quelconque (poêles à combustion lente), les gaz de la combustion arrivent à la cheminée avec une température peu supérieure à celle de l'air ambiant, le tirage ne s'effectue pas ou s'effectue mal; une partie des gaz de la combustion reste dans l'appareil et s'il survient accidentellement un coup de vent à l'extérieur, il y a refoulement dans la cheminée, et la fumée et les gaz de la combustion sont rejetés dans la chambre, ce qui est un grave inconvénient, surtout si ces gaz contiennent de l'oxyde de carbone, comme il arrive précisément dans les poêles à combustion lente.

253. **Ventilation par appel d'air.** — Pour que le tirage se produise par un tuyau partant d'une chambre et débouchant à l'extérieur, il n'est pas nécessaire qu'il y ait un appareil de chauffage à l'orifice inférieur. Les appareils d'éclairage (sauf les lampes électriques dont l'action calorifique est presque nulle) et la respiration des personnes placées dans cette chambre suffisent pour produire le tirage, l'appel d'air. Comme c'est à la partie supérieure, ainsi que nous l'avons dit, que la température est la plus élevée, c'est là que, de préférence, il faut placer l'orifice inférieur du tuyau. Par cette disposition on arrive à produire la ventilation naturelle de la chambre.

La ventilation ne se produirait pas convenablement, s'il n'existait pas une différence suffisante de température entre l'air extérieur et l'air de la salle; pour assurer la ventilation dans ce cas, on place souvent dans le tuyau un foyer, constitué généralement par un ou plusieurs becs de gaz. Les conditions sont alors les mêmes que celles indiquées précédemment, et le tirage est assuré absolument.

254. **Chauffage par circulation.** — Les variations de poids spécifiques donnent lieu encore à quelques applications: nous en signalerons une relative à un procédé de chauffage, le chauffage par circulation d'eau chaude.

Considérons dans un bâtiment un réseau de tuyaux remplis d'eau et présentant une partie verticale; si l'on vient à chauffer celle-ci à sa partie inférieure, il s'y produira un courant ascendant comme nous venons de l'expliquer: cette eau chaude tendra donc à se répandre dans le réseau à la partie supérieure en même temps que l'eau froide viendra la remplacer à la partie inférieure, produisant ainsi une circulation. L'eau froide s'échauffera à son tour et le même effet continuera. Le courant s'arrêterait si, par ce mouvement qui en amène toutes les parties à subir l'action du foyer, l'eau parvenait à avoir partout la même température. Mais, en réalité, il n'en est pas ainsi: dans la partie descendante du courant, les tuyaux, qu'on dispose de manière à ce qu'ils aient une grande surface, sont en contact avec l'air des salles qu'il s'agit de chauffer; ils communiquent en effet une partie de leur chaleur à cet air dont ils élèvent la température; mais par là même l'eau se refroidit et, par suite, la circulation continue d'autant plus rapidement que ce refroidissement étant plus considérable, il existe une plus grande différence de température entre la partie chauffée et l'eau qui se trouve dans la partie descendante.

En réalité, on ne chauffe pas directement la partie ascendante des tuyaux, mais l'extrémité inférieure de ceux-ci part d'une chaudière où aboutit d'autre part aussi l'extrémité inférieure de la partie contenant l'eau refroidie.

255. — Lorsqu'on vient à refroidir par sa partie supérieure une

masse d'eau qui est à la température de 10 ou 15° par exemple, il se produit des courants descendants qui sont froids, de telle sorte que ce sont les couches inférieures qui sont à la température la plus basse, au début de l'expérience. Mais cette action ne continue pas indéfiniment; en effet, lorsque ces couches ont atteint la température de 4° pour laquelle a lieu le maximum de poids spécifique, le mouvement descendant ne peut continuer, puisque les couches plus froides sont plus légères, et la température s'abaisse dans les parties supérieures, restant de 4° au fond. C'est ce que montrent des expériences directes (Hope, Tralles), c'est ce qui se passe dans les glaces et les mers où, lors même que la surface est congelée, les couches profondes restent à 4°.

En réalité, si l'action se prolonge, malgré l'équilibre, malgré qu'il n'y ait plus de convection, le refroidissement gagne lentement les couches profondes (F.-A. Forel) par conduction: les liquides sont très peu conducteurs, ils le sont cependant un peu.

256. **Poids des gaz.** — La connaissance du poids spécifique d'un gaz dans des conditions déterminées de température et de pression permet de calculer le poids d'un volume donné. Soient en effet  $v$  le volume,  $p$  le poids,  $\pi_0$  et  $\pi$  les poids spécifiques respectivement aux températures 0° et  $t^\circ$  et aux pressions 76<sup>cm</sup> et  $h$ , on a :

$$p = v\pi;$$

ou, à cause de la valeur trouvée pour  $\pi$  (229) :

$$p = v\pi_0 \frac{h}{76(1+at)}.$$

S'il s'agit d'un gaz éloigné de la liquéfaction dont  $d$  soit la densité, on a d'autre part,  $a_0$  étant le poids spécifique de l'air dans les conditions normales, 0° et 76 centimètres :

$$\frac{\pi_0}{a_0} = d.$$

Il vient donc la formule généralement employée :

$$p = va_0d \frac{h}{76(1+at)},$$

dans laquelle on a  $a_0 = 1^{\text{gr}}, 293$ , les volumes étant exprimés en litres.

Si l'on a un mélange de gaz, il faut calculer séparément le poids de chacun d'eux par une formule analogue dans laquelle on donnera à  $h$  pour chaque gaz la valeur de sa pression individuelle (162). Il suffira alors de faire la somme des poids obtenus.

La question présente un intérêt particulier pour l'air atmosphérique dont le poids varie avec l'humidité qu'il contient. Voici comment il faut alors opérer :

Les conditions étant les mêmes que précédemment, soit en outre  $f$  la tension de la vapeur d'eau et  $\delta$  sa densité. En appelant  $p_1$  le poids de cette vapeur et appliquant la formule précédente, on a :

$$p_1 = va_0 \delta \frac{f}{76(1 + \alpha t)}$$

Si  $p_2$  est le poids de l'air *sec* qui existe dans le mélange considéré, en remarquant que sa densité est 1 et que sa pression individuelle est  $h - f$ , puisque  $h$  est la pression totale, on aura :

$$p_2 = va_0 \frac{h - f}{76(1 + \alpha t)}$$

et, par suite,  $p$  étant le poids total, il vient :

$$p = p_1 + p_2 = \frac{va_0}{76(1 + \alpha t)} (\delta f + h - f)$$

En général on ne donne pas directement  $f$ , mais l'état hygrométrique de l'air  $\varepsilon = \frac{f}{F_t}$  (72),  $F_t$  étant la tension maxima de la vapeur à la température  $t$  (quantité fournie par des tables, comme nous le dirons plus loin). On remplacera donc dans la formule  $f$  par  $\varepsilon F_t$ ; si de plus on introduit la valeur numérique de  $\delta$  qui est 0,622 ou très sensiblement  $\frac{5}{8}$ , on a enfin la formule :

$$p = \frac{va_0}{76(1 + \alpha t)} \left( h - \frac{3}{8} \varepsilon F_t \right)$$

$p$  étant toujours donné en grammes si  $v$  est évalué en litres.

257. — La connaissance de la valeur du poids de 1 litre d'air dans les conditions où l'on opère est nécessaire dans un certain nombre de cas, et notamment dans celui où on veut déterminer avec précision le poids d'un corps. On sait en effet que l'action exercée par un corps sur une balance n'est pas égale à son poids, à celui qu'il aurait dans le vide, mais à son poids apparent (74), c'est-à-dire à son poids diminué de la poussée de l'air, poussée qui est le poids du volume d'air déplacé; c'est le poids apparent seul qui intervient dans les pesées tant pour le corps que pour la tare ou pour les poids marqués. Il y a donc lieu de faire des corrections pour déduire d'une pesée le véritable poids d'un corps, et il est nécessaire d'employer la formule précédente pour faire ces corrections sur le détail desquelles nous n'insisterons pas.

Dans la mesure des densités et poids spécifiques pour lesquelles on emploie des pesées, ces corrections sont nécessaires. Il faut, en outre, en faire d'autres pour tenir compte de la dilatation subie par le corps sur lequel on opère, car on ne peut pas en général effectuer les mesures

à 0°. S'il s'agit d'un corps gazeux, il y aura en outre à tenir compte également de la pression, car celle-ci n'est pas toujours égale à 76 centimètres.

Ces opérations, importantes d'ailleurs, ne se rattachent qu'indirectement aux applications médicales ou physiologiques de la physique; nous n'avons pas à nous y arrêter.

258. — Nous devons dire quelques mots cependant des résultats obtenus pour la densité des corps gazeux.

L'expérience montre que tant qu'il s'agit de corps éloignés de la liquéfaction, de gaz parfaits, la densité est bien un nombre constant, comme nous avons dit que cela doit être (230).

Il n'en est plus de même si on considère des gaz voisins de la liquéfaction : la densité varie. Si on effectue des mesures à partir de la température d'ébullition on reconnaît que la valeur de la densité décroît à mesure que la température s'élève jusqu'à un certain point où elle devient constante. Ainsi pour l'eau on a les valeurs suivantes :

Température...	107°	110°	120°	130°	150°
Densité .....	0,645	0,640	0,625	0,621	0,620

Donc, au début, les vapeurs ne suivent pas les lois de Mariotte et de Gay-Lussac et ne commencent à suivre ces lois qu'à une certaine distance de l'ébullition : elles sont alors des gaz parfaits.

La distance qui sépare le point d'ébullition de la température à laquelle la vapeur devient un gaz parfait varie avec la nature des corps. Pour l'eau, elle est de 30°, pour l'acide acétique de 120°, pour la benzine de 13°.

La densité dans le voisinage du point d'ébullition étant plus grande que la densité définitive, on en peut conclure que tout se passe comme si la vapeur se comprimait alors plus que ne l'indique la loi de Mariotte ou se dilatait moins que ne l'indique la loi de Gay-Lussac.

La densité de certains corps gazeux subit en outre, à une température éloignée de la liquéfaction, des variations quelquefois considérables. Cela peut être dû, dans le cas de corps composés, à des phénomènes de dissociation, dans le cas de corps simples, comme le soufre, probablement à des modifications de constitution des molécules. Mais ces questions sont plutôt du domaine de la chimie que de celui de la physique.