

démontrerait de la même manière que cette pression reste la même quelle que soit la hauteur du niveau AB, entre les limites A et c, et que, par conséquent, l'écoulement par l'orifice o restera constant tant que ce niveau ne sera pas abaissé au-dessous de l'orifice l du tube. Ce n'est qu'à partir de ce moment que la pression et, par suite, la vitesse d'écoulement, commenceront à décroître.

Le vase de Mariotte est utilisé dans certaines industries, notamment dans la fabrication de l'acide sulfurique. On l'emploie également dans certaines analyses chimiques, l'analyse de l'air, par exemple, où il est nécessaire d'obtenir par déplacement un écoulement constant de gaz*.

Remarque. — Lorsqu'un liquide s'écoule par un orifice percé en mince paroi, on peut observer que ses molécules prennent, en sortant de cet orifice, une direction convergente, ce qui a nécessairement pour effet de rétrécir la veine liquide. Ce rétrécissement, que l'on nomme la *contraction de la veine*, atteint son maximum (environ 0,38 de la section de l'orifice), à une distance de cet orifice sensiblement égale à la moitié de son diamètre. Il résulte de ce fait que la *dépense* réelle, c'est-à-dire la quantité de liquide qui s'écoule dans un temps donné par un orifice en mince paroi est toujours moindre que la dépense théorique, calculée d'après le théorème de Torricelli. L'expérience prouve que la dépense réelle augmente, quand on adapte à l'orifice un petit tuyau cylindrique ou conique nommé *ajutage*. L'adhérence qui s'établit entre les parois de cet ajutage et le liquide diminue la convergence des molécules et, par suite, la contraction de la veine. Avec un ajutage conique, la dépense réelle peut atteindre les 0,95 de la dépense théorique. Ces divers résultats peuvent être vérifiés expérimentalement au moyen du vase de Mariotte.

Résumé.

I. Les *pompes* sont des appareils destinés à élever l'eau ou tout autre liquide. On en distingue trois espèces : la pompe *aspirante*, la pompe *foulante* et la pompe *aspirante et foulante*.

II. Le *siphon* est un instrument destiné à transvaser les liquides. Il consiste en un tube à branches inégales, dont la plus courte plonge

* Voyez la *Chimie*.

dans le liquide à transvaser. Selon sa disposition, le siphon peut donner soit un écoulement continu, soit un écoulement intermittent.

III. Lorsqu'un liquide s'écoule par un orifice percé en mince paroi, sa vitesse d'écoulement en sortant de cet orifice est égale à celle que prendrait une molécule de ce liquide ou tout autre corps pesant, en tombant librement dans le vide d'une hauteur égale à celle du niveau du liquide au-dessus du centre de l'orifice. (Théorème de Torricelli.)

IV. L'expérience et la théorie démontrent que, pour des hauteurs de niveaux différentes au-dessus du centre de l'orifice, la vitesse d'écoulement est proportionnelle aux racines carrées de ces hauteurs.

$$v = \sqrt{2gh}$$

V. La vitesse d'écoulement d'un liquide est indépendante de la nature ou de la densité de ce liquide; elle ne dépend que de la distance de l'orifice au-dessous du niveau.

VI. Le vase de Mariotte se compose d'un grand flacon fermé par un bouchon que traverse un tube ouvert à ses deux bouts. A peu de distance du fond s'ouvre un orifice par lequel on peut obtenir un écoulement constant du liquide contenu dans le flacon.

VII. Lorsqu'un liquide s'écoule par un orifice percé en mince paroi, on observe un rétrécissement ou *contraction de la veine*, dont le maximum (0,62 environ) se trouve à une distance sensiblement égale au demi-diamètre de cet orifice. On peut rendre cette contraction moins grande au moyen d'un ajutage cylindrique ou conique adapté à l'orifice.

CHAPITRE X.

Principe d'Archimède appliqué aux gaz. — Baroscope. — Aérostats et montgolfières. — Équilibre des gaz dont toutes les parties ne sont pas à la même température. — Tirage des cheminées. — Aérage des mines. — Ventilation.

Principe d'Archimède appliqué aux gaz. Baroscope.

418. *Influence du poids de l'air sur le poids des corps qui y sont plongés.* — Le principe d'Archimède s'applique aussi bien aux gaz qu'aux liquides. Par conséquent, tout corps plongé dans un

gaz éprouve une poussée verticale de bas en haut égale en grandeur au poids du gaz déplacé, ce que l'on peut exprimer encore en disant que tout corps plongé dans un gaz perd une partie de son poids égale au poids du volume de gaz qu'il déplace*. Quand on pèse un corps dans l'air, ce n'est donc pas son poids réel qu'on obtient, mais bien l'excès du poids de ce corps sur le poids du volume d'air qu'il déplace. Ce principe se démontre à l'aide d'un petit appareil nommé *baroscope*.

Baroscope. — Il consiste (fig. 100) en une espèce de balance dont le fléau porte à l'une de ses extrémités une petite masse de plomb, et à l'autre extrémité une sphère creuse en cuivre d'un volume assez considérable. Ces deux corps se font équilibre dans l'air; mais si on place l'appareil sous le récipient de la machine pneumatique, et si l'on fait le vide, on voit aussitôt

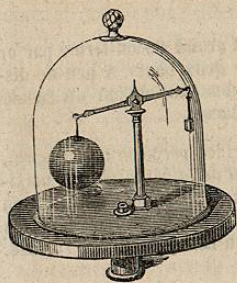


Fig. 100.

la sphère creuse l'emporter sur la petite masse de plomb, ce qui prouve qu'en réalité elle est plus pesante. Or, si dans l'air elle faisait équilibre à la petite masse, c'est qu'elle perdait une plus grande partie de son poids. Pour prouver que cette perte de poids est bien égale au poids du volume d'air déplacé, il suffit d'ajouter à la petite masse de plomb le poids d'un volume d'air égal à celui de la sphère; l'équilibre, rompu dans l'air, se rétablit aussitôt dans le vide.

On peut encore démontrer que le principe d'Archimède s'applique à l'air atmosphérique au moyen d'une expérience fort simple. On pèse une vessie privée d'air aussi exactement que possible. Quand l'équilibre est établi, on la remplit d'air à l'aide d'un soufflet et on la replace sur le plateau de la balance. On constate alors que son poids n'a pas changé: ce qui prouve que le poids de l'air qu'on y a introduit est détruit par le poids du volume d'air sensiblement égal que déplace la vessie gonflée.

Problèmes. 1. Un corps dont le volume est de 4 mètres cubes pèse dans l'air 1000 kilogrammes sous la pression atmosphérique ordinaire et à 0°: on demande son poids dans le vide.

* Voyez la note, page 91.

Tout corps plongé dans l'air perd une partie de son poids égale au poids du volume d'air qu'il déplace. Donc, pour avoir le poids du corps donné dans le vide, il faut ajouter à son poids dans l'air le poids de 4 mètres cubes de ce gaz: 1 mètre cube d'air, sous la pression atmosphérique ordinaire et à 0°, pesant 1^h,300, 4 mètres cubes peseront

$$1^{\text{h}},300 \times 4 = 5^{\text{h}},200 ;$$

donc le poids réel du corps sera

$$1000^{\text{h}} + 5^{\text{h}},200 = 1005^{\text{h}},200.$$

2. Un corps perd 7 grammes de son poids dans l'air: combien perdrait-il dans l'acide carbonique et dans l'hydrogène, sachant que la densité de l'acide carbonique est 1,524 et celle de l'hydrogène 0,069.

En vertu du principe d'Archimède et de la loi de Mariotte, la perte de poids que subit un corps plongé dans un gaz est proportionnelle à la densité de ce gaz.

Donc la perte de poids dans l'acide carbonique serait

$$7^{\text{gr}} \times 1,524 = 10^{\text{gr}},668 ;$$

dans l'hydrogène,

$$7^{\text{gr}} \times 0,069 = 0^{\text{gr}},483.$$

Remarque. De même que pour les liquides, quand un corps est plongé dans l'air, il peut arriver trois cas:

1° Si le corps est plus pesant que l'air sous le même volume, il tombe avec une force égale à l'excès de son poids sur le poids du volume d'air qu'il déplace;

2° Si le corps, sous le même volume, a un poids égal à celui de l'air, il reste suspendu en équilibre dans l'atmosphère;

3° Si le corps, à volume égal, est moins pesant que l'air, il s'élève dans l'atmosphère avec une force ascensionnelle égale à la différence entre son poids et celui du volume d'air qu'il déplace. Telle est la cause pour laquelle la fumée, la vapeur d'eau, les aérostats, s'élèvent dans l'atmosphère.

Aérostats et montgolfières.

119. *Aérostats et montgolfières*. — Les aérostats ou ballons se composent d'une enveloppe en étoffe légère et imperméable, de forme sphéroïdale, laquelle, remplie d'air chaud ou de gaz hy-

drogène pèse moins que le volume d'air qu'elle déplace, et, pour cette raison, monte dans l'atmosphère.

L'invention des aérostats est due aux frères Étienne et Joseph Montgolfier, fabricants de papiers dans la petite ville d'Annonay, où le premier ballon fut lancé le 5 juin 1783. C'était un vaste globe de toile doublé de papier, et gonflé avec de l'air chaud obtenu en brûlant, au-dessous d'une ouverture pratiquée à la partie inférieure de l'appareil, de la paille et du papier humides. On donne le nom de *montgolfières* à tous les ballons de ce genre.

Le 21 novembre de la même année, Pilâtre de Rozier et le chevalier d'Arlandes osèrent les premiers s'élever dans un ballon libre à air chaud, qu'ils entretenaient à l'aide d'un feu de paille mouillée. L'ascension eut lieu dans le jardin de la Muette, près du bois de Boulogne, à Paris.

Peu de temps après, le physicien Charles, professeur à Paris, eut l'heureuse idée de substituer l'hydrogène à l'air chaud. Après une première expérience exécutée avec succès au Champ-de-Mars, il s'éleva lui-même, en compagnie de Robert, dans un ballon rempli de ce gaz. Depuis, un grand nombre d'ascensions ont été tentées. Les plus célèbres sont celles de MM. Gay-Lussac, Green, Barral et Bixio. Ces aéronautes, en s'élevant à des hauteurs considérables, ont constaté l'abaissement énorme de la température et la sécheresse extrême de l'air. Dans l'ascension que fit Gay-Lussac en 1804, où il s'éleva à environ 7,000 mètres, le baromètre descendit de 76 à 32 centimètres; le thermomètre, qui au moment du départ marquait 30° centigr., descendit à 40° au-dessous de zéro. Les substances hygrométriques, telles que le papier, le parchemin, se desséchaient et se tordaient comme si on les eût soumises à l'action du feu. Dans ces hautes régions, l'azur du ciel se fonce de plus en plus et prend une teinte noirâtre; autour de l'aéronaute règne un silence absolu.

Le ballon à gaz hydrogène ou à gaz d'éclairage, le seul en usage aujourd'hui pour les ascensions aérostatiques, ne doit pas être entièrement gonflé au moment du départ; car, à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, la pression de l'air diminuant, le gaz renfermé dans le ballon prend une expansion qui pourrait déterminer la rupture de l'enveloppe. A la partie supérieure du ballon est adaptée une soupape s'ouvrant au moyen d'une corde qui pend dans la nacelle. Quand on l'ouvre, une partie du gaz s'échappe, la force ascensionnelle diminue, et le ballon tend à

descendre. Si l'aéronaute veut au contraire s'élever, il vide les sacs de sable qui composent son lest. La nacelle porte encore une ancre suspendue à l'extrémité d'une longue corde pour faciliter la descente.

La force ascensionnelle d'un ballon doit être calculée de façon à ce qu'elle ne dépasse pas 4 à 5 kilogrammes. Remarquons que cette force reste constante tant que le ballon n'est pas entièrement gonflé par l'expansion que prend le gaz intérieur à mesure qu'il monte. En effet, si la pression atmosphérique devient deux fois plus petite, le gaz du ballon prendra, d'après la loi de Mariotte, un volume deux fois plus grand; et comme la densité de l'air est alors deux fois moindre, il en résulte que le poids du volume déplacé est toujours le même, et par conséquent que la force ascensionnelle qu'avait le ballon au moment du départ n'a pas changé. Mais aussitôt que le ballon est complètement gonflé, sa force d'ascension décroît à mesure qu'il s'élève, et il arrive un moment où le poids du volume d'air qu'il déplace est précisément égal au sien. A ce moment, la poussée est nulle et le ballon cesse de monter. Si l'aéronaute veut s'élever davantage, il faut qu'il jette une partie de son lest; si au contraire il veut descendre, il doit ouvrir la soupape. C'est d'après les indications du baromètre que l'aéronaute sait s'il monte ou s'il descend, et qu'il détermine la hauteur à laquelle il se trouve.

Les aéronautes emportent quelquefois avec eux, suspendu aux flancs de leur ballon, un appareil nommé *parachute*, avec lequel, en cas d'accident survenu au ballon, ils peuvent effectuer lentement leur descente. C'est une sorte de vaste parapluie en étoffe très-solide, de 4 à 5 mètres de diamètre, sur le contour duquel sont fixées des cordes qui soutiennent une petite nacelle. L'air, en s'engouffrant sous l'appareil, le fait bientôt ouvrir, et en ralentit suffisamment la chute par la résistance qu'il lui oppose. Pour éviter les oscillations dangereuses que pourrait prendre la nacelle, si l'air qui afflue sous le parachute s'échappait par son contour, une ouverture est pratiquée à son centre, afin d'en faciliter l'écoulement et de maintenir ainsi la stabilité de l'appareil.

Problèmes. 4. On demande le poids que peut enlever un ballon contenant, au moment du départ, et à la température de 0°, 200 mètres cubes d'hydrogène pur, l'enveloppe, les cordages et

la nacelle occupant un volume de 80 décimètres cubes et pesant 60 kilogrammes.

Un litre d'air à 0° pesant 1^{sr},3, 1 mètre cube de gaz pèse 1^{sr},300. Le poids total du volume d'air déplacé sera donc égal à 1^{sr},300 × 200 = 260^k, plus le poids du volume d'air déplacé par l'enveloppe et les agrès, c'est-à-dire 80 × 1^{sr},3 = 104^{sr}. La densité de l'hydrogène étant 0,069, en multipliant ce nombre par 260 kilogrammes, poids du même volume d'air, on aura 17^k,940, nombre qui, ajouté à 60 kilogrammes, poids intrinsèque de l'enveloppe, des cordages et de la nacelle, donnera 77^k,940 pour le poids total du ballon rempli d'hydrogène. Retranchant ce nombre de 260^{kil},104^{sr}, poids total du volume d'air déplacé, on aura pour la force ascensionnelle 182^k,164^{sr}. Et comme il suffit que cette force soit de 4 à 5 kilogrammes, on voit que le ballon pourra enlever environ 177^k,164^{sr}.

2. On demande le poids de l'hydrogène contenu dans un ballon sphérique dont la surface a 100 mètres carrés, sachant que la densité de l'hydrogène est 0,069.

Cherchons d'abord le rayon. La surface du ballon étant de 100 mètres carrés, on aura, d'après la formule $4\pi R^2$ qui représente la surface de la sphère

$$R = \sqrt{\frac{100}{4\pi}} = 2^m,822.$$

Le volume d'une sphère étant égal à sa surface multipliée par le tiers de son rayon, le volume du ballon et, par suite, celui de l'hydrogène qu'il renferme sera donc égal à

$$100 \times \frac{2,822}{3} = 94^m \text{ cub},066.$$

Le même volume d'air pèserait, à 0°, et sous la pression de 76 centim.

$$94,066 \times 1^k,30 = 122^kil,286^sr,$$

nombre qui, multiplié par 0,069, densité de l'hydrogène, donnera 8^{kil},438^{sr} pour le poids de ce gaz contenu dans le ballon sous la pression de 76 centim. Sous une autre pression H, plus forte ou plus faible, le poids p du même volume d'hydrogène serait, en vertu de la loi de Mariotte

$$p = 8^kil,438^sr \times \frac{H}{76}$$

Équilibre des gaz dont les diverses parties ne sont pas à la même température. Tirage des cheminées. Aérage et ventilation.

120. *Équilibre des gaz dont les diverses parties ne sont pas à la même température.* — Nous verrons bientôt que tous les corps soumis à l'action de la chaleur se dilatent, et que les gaz sont ceux dont la dilatation est la plus considérable et la plus uniforme. Il en résulte que la densité d'un gaz est d'autant plus petite, que sa température est plus élevée. Si donc nous concevons une masse de gaz dont les diverses parties soient à des températures différentes, il est évident que ces parties se superposent dans l'ordre de leur température. Les plus chaudes se tiendront à la partie supérieure du récipient, et les plus froides en bas. Ce principe trouve son application dans plusieurs circonstances, et, en particulier, dans la construction de nos divers appareils de chauffage.

121. *Tirage des cheminées.* — Le tirage des cheminées résulte d'une différence de pression entre l'air extérieur et la colonne d'air chaud que contient la cheminée. Cette colonne d'air chaud est, en effet, plus légère que la même colonne d'air froid prise en dehors de la cheminée depuis son sommet jusqu'au foyer; l'air chaud tendra donc à s'élever, et sera à chaque instant remplacé dans le foyer par l'air froid, qui, s'échauffant à son tour, s'élèvera de même dans la cheminée, et ainsi de suite. Le tirage sera par conséquent d'autant plus fort que la différence de température entre l'air contenu dans la cheminée et l'air extérieur sera plus considérable et que la cheminée sera plus haute.

Toutefois, il y a dans la hauteur que l'on peut donner à une cheminée une limite au delà de laquelle une plus grande élévation ne déterminerait plus une augmentation de tirage. On conçoit, en effet, que les frottements que l'air éprouve dans son mouvement ascensionnel et le refroidissement qu'il subit à mesure qu'il s'éloigne du foyer, doivent avoir pour résultat de faire perdre d'un côté ce qu'on chercherait à gagner de l'autre, en augmentant démesurément la hauteur de la cheminée. Il importe aussi de donner aux cheminées une largeur suffisante pour que la colonne d'air et de fumée qu'elles sont chargées de porter au dehors puisse, tout en remplissant en entier leur canal, s'y mouvoir librement.

L'ouverture du foyer a aussi une grande influence sur la rapidité avec laquelle l'air froid s'y précipite. Il est facile de voir, en effet, que la vitesse du courant sera d'autant plus grande que l'étendue de cette ouverture sera moins large. C'est la raison pour laquelle on adapte au-devant des cheminées des rideaux ou obturateurs en tôle à feuillets mobiles, qui permettent de diminuer ou d'augmenter l'ouverture du foyer, et, par suite, d'activer ou de ralentir le tirage.

On a calculé que la chaleur envoyée dans un appartement par le foyer d'une bonne cheminée ne représente guère que le dixième de la quantité de chaleur produite par le combustible brûlé. Le reste accompagne en pure perte l'air et la fumée qui s'échappent au dehors. Sous le rapport du chauffage, les cheminées sont donc de beaucoup inférieures aux divers poêles en fonte ou en faïence, dont les parois, en contact par toute leur surface avec l'air de l'appartement, lui transmettent la plus grande partie de la chaleur dégagée par la combustion.

122. *Aérage, ventilation.* — Si les cheminées sont défectueuses comme moyen de chauffage, elles présentent par contre un très-grand avantage au point de vue de la ventilation. Quand une cheminée tire bien, elle entretient dans l'appartement un renouvellement incessant de l'air, qui s'introduit du dehors par les fissures des portes et des fenêtres, les trous des serrures, etc. Aussi la présence d'une bonne cheminée est-elle une des meilleures conditions que puisse offrir, pour l'aérage, toute salle dans laquelle doivent séjourner un grand nombre de personnes.

Quand deux cheminées communiquent avec un espace entièrement clos, si l'on fait du feu dans l'une, un courant descendant s'établit aussitôt dans l'autre et amène dans cet espace l'air pur du dehors. C'est sur ce principe que repose l'aérage des mines, au moins de celles d'entre elles qui permettent l'emploi de ce procédé. Dans le cas contraire, soit qu'il y ait danger à entretenir du feu dans la mine, comme dans les houillères, par exemple, soit pour tout autre motif, on a recours pour l'aérage à des appareils mécaniques nommés ventilateurs. Ceux que l'on emploie le plus ordinairement sont des ventilateurs à force centrifuge, composés d'une caisse dans laquelle on fait mouvoir rapidement une roue portant à sa circonférence des ailes ou palettes en bois ou en métal. L'air chassé avec force par ces palettes est conduit par un large tube dans la galerie qu'il s'agit d'aérer.

Résumé.

I. Le principe d'Archimède s'applique aussi bien aux gaz qu'aux liquides. Par conséquent, tout corps plongé dans un gaz éprouve une poussée verticale, de bas en haut, égale en grandeur au poids du gaz déplacé, ou, en d'autres termes, perd une partie de son poids égale au poids du volume de gaz qu'il déplace. Ce principe se démontre à l'aide du baroscope.

II. Lorsqu'un corps est plongé dans l'air, il peut arriver trois cas :

1° Si le corps est plus pesant que l'air sous le même volume, il tombe avec une force égale à l'excès de son poids sur le poids du volume d'air qu'il déplace ;

2° Si le corps, sous le même volume, a un poids égal à celui de l'air, il reste suspendu en équilibre dans l'atmosphère ;

3° Si le corps, à volume égal, est moins pesant que l'air, il s'élève dans l'atmosphère avec une force ascensionnelle égale à la différence entre son poids et celui du volume d'air qu'il déplace. Les aérostats sont une application de ce dernier principe.

III. Lorsque les diverses parties d'une masse de gaz sont à des températures différentes, ces parties se superposent dans l'ordre de leurs températures. Le tirage des cheminées repose sur ce principe.

CHAPITRE XI.

CHALEUR.

Notions sommaires sur la théorie mécanique de la chaleur. — Sources de chaleur. — Dilatation. — Construction et usages des thermomètres. — Notions sur les coefficients de dilatation des solides, des liquides et des gaz ; leurs usages. — Poids spécifiques des gaz.

Chaleur. Notions sommaires sur la théorie mécanique de la chaleur. Sources de chaleur.

125. *Chaleur.* — Pendant longtemps la *chaleur*, c'est-à-dire la cause qui, suivant son plus ou moins d'énergie, produit en nous la sensation du chaud ou du froid, qui fait fondre la