

* CHAPITRE II.

CAPILLARITÉ, ENDOSMOSE, ABSORPTION ET IMBIBITION.

112. **Phénomènes capillaires.** — Il se produit, au contact des solides et des liquides, une série de phénomènes auxquels on a donné le nom de *phénomènes capillaires*, parce qu'ils s'observent surtout dans les tubes d'un diamètre assez petit pour être comparable à celui d'un cheveu. La partie de la physique qui a pour objet l'étude des phénomènes capillaires se désigne sous le nom de *capillarité*. Toutefois cette expression s'applique aussi à la force même qui produit ces phénomènes.

Les effets de la capillarité sont très-variés; mais, dans tous les cas, ils sont dus à l'attraction mutuelle des molécules liquides entre elles, et à celle qui s'exerce entre ces molécules et les corps solides. Tels sont les phénomènes suivants :

Lorsqu'on plonge un corps dans un liquide qui soit de nature à le mouiller, le liquide, comme s'il n'était plus soumis aux lois de l'hydrostatique, est soulevé

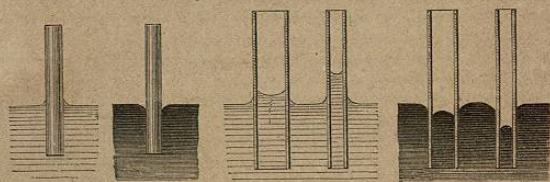


Fig. 64. Fig. 65. Fig. 66. Fig. 67.

autour du corps solide, et sa surface, cessant d'être horizontale, prend une forme concave (fig. 64).

Si, au contraire, le corps plongé n'est pas mouillé par le liquide, ce qui a lieu pour le verre en contact avec le mercure, le liquide, au lieu de s'élever, se déprime, et sa surface prend une forme convexe autour du corps plongé, comme le montre la figure 65. La surface du liquide affecte la même concavité ou convexité sur les bords du vase qui le contient, suivant qu'il en mouille ou n'en mouille pas les parois.

Ces phénomènes deviennent plus apparents, lorsque, au lieu d'une masse pleine, on plonge dans le liquide des tubes de verre creux d'un petit diamètre. Selon que ces tubes sont ou ne sont pas mouillés par le liquide, il se produit une ascension ou une dépression d'autant plus grandes, que le diamètre est plus petit (fig. 66 et 67).

Lorsque les tubes sont mouillés par le liquide, la surface de celui-ci prend la forme d'un segment hémisphérique concave qu'on nomme *ménisque concave* (fig. 66); lorsque les tubes ne sont pas mouillés, on a un *ménisque convexe* (fig. 67).

113. **Lois de l'ascension des liquides dans les tubes capillaires.** — Lorsque les parois des tubes sont d'avance mouillées par un liquide, Gay-Lussac a vérifié par l'expérience les deux lois suivantes :

1^o *L'ascension varie avec la nature du liquide et avec la température, mais elle est indépendante de la substance des tubes et de l'épaisseur de leurs parois.*

2^o *Pour un même liquide, l'ascension est, en raison inverse du diamètre du tube, tant que ce diamètre ne dépasse pas 2 millimètres.*

Cette seconde loi est connue sous le nom de *loi de Jurin*, du nom de celui qui, le premier, l'a fait connaître.

Toutes ces lois se vérifient dans le vide comme dans l'air; mais Wolf a fait voir que, lorsque la température augmente, l'ascension de l'eau dans les tubes diminue, et peut même devenir nulle ou se changer en dépression.

114. **Loi de la dépression dans les tubes capillaires.** — Pour les liquides qui ne mouillent pas les tubes, comme le mercure dans le verre, la dépression est encore en raison inverse du diamètre des tubes; mais, pour des tubes de même diamètre, cette dépression varie avec la nature des tubes. Par exemple, tandis que, dans un tube de fer de 1 millimètre de diamètre, la dépression est de 1^m,226, dans un tube de platine de même diamètre, elle n'est que de 0^m,635. La dépression dépend encore de la hauteur du ménisque convexe du mercure, hauteur qui varie beaucoup, à diamètre égal, avec la pureté du mercure, et suivant que le ménisque s'est formé pendant le mouvement ascendant ou descendant de la colonne mercurielle dans le tube. Il est plus haut dans le premier cas que dans le second.

115. **Lois de l'ascension et de la dépression entre deux lames parallèles ou inclinées.** — Des phénomènes analogues à ceux que présentent les tubes

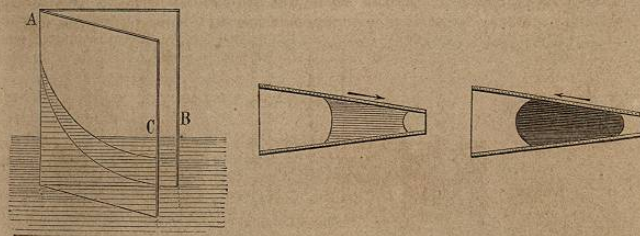


Fig. 68.

Fig. 69.

Fig. 70.

capillaires se produisent entre deux corps de forme quelconque plongés dans un liquide, lorsqu'ils sont suffisamment rapprochés. Par exemple, si l'on plonge dans l'eau deux lames de verre parallèles, assez peu distantes pour que les deux courbures formées à leur contact par le liquide viennent à se joindre, on observe : 1^o que l'eau s'élève régulièrement entre les deux lames, en raison inverse de l'intervalle qui les sépare; 2^o que la hauteur de l'ascension, pour un intervalle donné, est la moitié de celle qui aurait lieu dans un tube dont le diamètre serait égal à cet intervalle.

Si les lames parallèles plongent dans le mercure, il y a dépression, mais suivant les mêmes lois.

Deux lames de verre AB et AC étant inclinées entre elles, comme le montre la figure 68, si on les plonge dans un liquide qui les mouille, de manière que leur ligne de contact soit verticale, le liquide s'élève au sommet de l'angle des deux lames, et sa surface, du point le plus haut au point le plus bas, affecte la forme de la courbe connue en géométrie sous le nom d'*hyperbole équilatère*.

Lorsque la ligne de contact des deux lames est horizontale, comme cela aurait lieu dans les lames représentées dans les figures 69 et 70, si on les prolongeait, et lorsqu'en même temps l'angle qu'elles forment est très-petit, une goutte d'eau placée entre elles s'arrondit à ses deux extrémités en ménisque concave (fig. 69),

et se précipite vers le sommet de l'angle des deux lames. Si, au contraire, le liquide ne mouille pas les lames, comme cela a lieu pour le mercure, la goutte s'arrondit en se terminant en ménisque convexe (fig. 70), et elle s'éloigne du sommet de l'angle.

116. Attractions et répulsions qui résultent de la capillarité. — C'est à la capillarité que sont dues les attractions et les répulsions qu'on observe entre les corps qui flottent à la surface des liquides, attractions et répulsions qui sont soumises aux lois suivantes :

Lorsque deux corps flottants sont mouillés tous les deux par le liquide, par exemple deux balles de liège dans l'eau, il se produit une forte attraction aussitôt que les deux balles sont assez rapprochées pour qu'il n'existe plus entre elles de surface plane.

Si les corps ne sont mouillés ni l'un ni l'autre, comme deux balles de cire sur l'eau, on observe encore une vive attraction aussitôt que celles-ci sont placées dans la même condition que ci-dessus.

Enfin, si des deux corps flottants, l'un est mouillé par le liquide et que l'autre ne le soit pas, comme une balle de liège et une balle de cire dans l'eau, on voit les deux balles se repousser au moment où elles sont suffisamment rapprochées pour que les deux courbures contraires du liquide se trouvent en contact.

Tous les phénomènes capillaires qui viennent d'être décrits dépendent de la courbure concave ou convexe que prend la surface du liquide au contact des corps, il nous reste à faire connaître la cause qui détermine la forme de cette courbure.

117. Cause de la courbure des surfaces liquides au contact des solides. — La forme de la surface d'un liquide au contact d'un corps solide provient

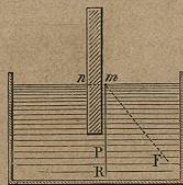


Fig. 71.

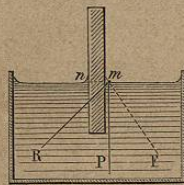


Fig. 72.

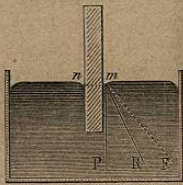


Fig. 73.

du rapport qui existe entre l'attraction du solide sur le liquide, et l'attraction du liquide sur lui-même.

En effet, soit une molécule liquide m (fig. 72) en contact avec un corps solide. Cette molécule est soumise à trois forces : la pesanteur, qui la sollicite suivant la verticale mP ; l'attraction du liquide, qui agit dans une direction mF ; et l'attraction de la lame, qui s'exerce dans la direction mn . Or, selon les intensités respectives de ces forces, leur résultante peut prendre les trois positions suivantes :

1° Cette résultante est dirigée suivant la verticale mR (fig. 71); alors la surface en m est plane et horizontale, car, d'après les conditions d'équilibre des liquides (86), leur surface doit être perpendiculaire à la force qui sollicite leurs molécules.

2° La force n augmentant, ou F diminuant, la résultante R est dirigée dans l'angle mP (72); dans ce cas, la surface prend une direction inclinée perpendiculaire à mR , et elle est concave.

3° La force F augmentant, ou n diminuant, la résultante R prend la direction mR (fig. 73) dans l'angle PmF , et la surface, se disposant perpendiculairement à cette direction, devient convexe.

Le calcul montre que, dans le premier cas, l'attraction du liquide sur lui-même est double de celle du solide sur le liquide; dans le second cas, l'attraction du liquide est plus petite que le double de celle du solide; dans le troisième, elle est plus grande.

118. Influence de la courbure du liquide sur les phénomènes capillaires. — C'est de la forme concave ou convexe du ménisque que dépend l'ascension ou la dépression d'un liquide dans un tube capillaire. En effet, si l'on considère un ménisque concave $abcd$ (fig. 74), les molécules liquides de ce ménisque étant soutenues en équilibre par les forces qui les sollicitent (117), elles n'exercent aucune pression sur les couches inférieures; de plus, elles agissent, en vertu de l'attraction moléculaire, sur les couches inférieures les plus voisines, d'où il résulte que, sur une couche quelconque mn , considérée dans l'intérieur du tube, la pression est moindre que s'il n'y avait point de ménisque. Par conséquent, d'après les conditions d'équilibre des liquides (80 et 86), le liquide doit s'élever dans le tube jusqu'à ce que la pression intérieure sur la couche mn soit égale à la pression op , qui s'exerce extérieurement sur un point quelconque p de la même couche.

Dans le cas où le ménisque est convexe (fig. 75), l'équilibre existe encore, en vertu des forces moléculaires qui sollicitent le liquide; mais les molécules qui occuperaient l'espace $ghik$, s'il n'y avait pas d'action capillaire, étant supprimées, n'agissent plus par attraction sur les molécules inférieures. Il résulte de là que la pression, sur une tranche quelconque mn , est plus grande, dans l'intérieur du tube, que si l'espace $ghik$ était rempli, car les forces moléculaires dont il s'agit sont beaucoup plus intenses que la pesanteur. Le liquide doit donc s'abais-

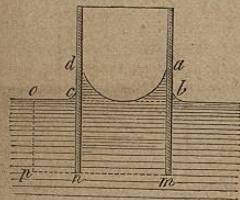


Fig. 74.

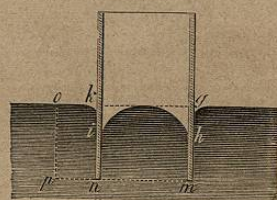


Fig. 75.

ser dans le tube jusqu'à ce que la pression intérieure sur la tranche mn soit la même qu'en un point quelconque p de cette tranche.

La théorie de la capillarité, une des plus difficiles de la physique, ne peut être traitée d'une manière complète que par l'analyse mathématique; aussi a-t-elle été étudiée surtout par les mathématiciens, et particulièrement, en France, par Clairaut, Laplace et Poisson. Telle que nous venons de la faire connaître, cette théorie rend compte de l'ascension et de la dépression des liquides non-seulement dans les tubes, mais encore entre les lames parallèles ou inclinées (114). Elle explique également les attractions et les répulsions qu'on observe entre les corps flottants (115).

119. Faits divers dépendants de la capillarité. — Au nombre des phénomènes qui ont pour cause la capillarité, nous citerons les suivants :

Lorsqu'un tube capillaire est plongé dans un liquide qui le mouille, si on l'en retire avec précaution, on observe que la colonne liquide qui reste suspendue dans le tube est plus grande que l'ascension qui avait lieu lorsque ce tube plongeait. Ceci résulte de ce que le tube entraîne avec lui une goutte liquide qui adhère à sa partie inférieure et y forme un ménisque convexe dont l'action con-

court avec celle du ménisque concave supérieur pour soutenir une colonne plus grande (118).

C'est par la même raison qu'un tube capillaire plongé dans un liquide n'y donne lieu à aucun écoulement, quoique plus court que la colonne liquide qui tend à s'élever dans ce tube. Cela provient de ce qu'à l'instant où le liquide atteint le haut du tube, sa surface supérieure, de concave qu'elle était, devient convexe, et, par conséquent, la pression devenant plus grande que si sa surface était plane, le mouvement ascensionnel s'arrête.

On voit souvent des insectes se maintenir à la surface de l'eau sans y enfoncer. C'est là un phénomène capillaire qui résulte de ce que leurs pattes étant recouvertes d'une matière onctueuse qui les empêche de se mouiller, il se produit autour d'elles une dépression qui soutient ces insectes malgré leur poids, de même que l'eau est soutenue dans les tubes. C'est par une dépression semblable qu'une aiguille fine à coudre, posée doucement sur l'eau, reste à la surface quand elle est enduite d'une matière grasse, parce qu'alors elle n'est pas mouillée; mais si elle a été lavée dans l'alcool ou la potasse, elle va au fond.

C'est encore par un effet capillaire que l'huile s'élève dans les mèches des lampes, et qu'il y a pénétration des liquides dans les bois, dans les éponges, et, en général, dans tous les corps qui possèdent des pores sensibles (15). Enfin, sous les noms d'endosmose, d'absorption et d'imbibition, nous allons faire connaître de nouveaux phénomènes qui ont une grande analogie avec la capillarité et souvent se confondent avec elle.

* ENDOSMOSE, ABSORPTION ET IMBIBITION.

120. **Endosmose et exosmose.** — On a donné les noms d'*endosmose* et d'*exosmose* à des courants de direction contraire qui s'établissent entre deux liquides de nature différente, lorsqu'ils sont séparés par une cloison mince et très-poreuse, organique ou inorganique. Ces expressions qui signifient *courant entrant* et *courant sortant*, ont été adoptées par Dutrochet, qui, en 1826, fit connaître d'une manière complète ces phénomènes, jusqu'alors fort peu étudiés. Ces courants se constatent au moyen de l'*endosmomètre*. On nomme ainsi une poche membraneuse surmontée d'un tube de verre un peu long, autour duquel elle adhère hermétiquement au moyen d'une ligature (fig. 76). Cette poche étant remplie d'une dissolution fortement gommée ou d'un autre liquide plus dense que l'eau, comme le lait, l'albumine, une dissolution de sucre, on la plonge dans un vase rempli d'eau. Bientôt on remarque que le niveau s'élève peu à peu dans le tube, à une hauteur qui peut atteindre plusieurs décimètres, et qu'il s'abaisse dans le vase où plonge l'*endosmomètre*; d'où il faut conclure qu'une partie de l'eau pure a passé à travers la membrane pour aller se mélanger au liquide intérieur. On constate, de plus, qu'au bout d'un certain temps, l'eau dans laquelle plonge l'*endosmomètre* contient de la gomme. Il s'est donc produit un courant dans les deux sens. On dit alors qu'il y a endosmose pour le liquide dont le volume augmente. Si l'on met l'eau pure dans la poche membraneuse, et si l'on plonge celle-ci dans l'eau gommée, l'endosmose se produit encore de l'eau pure vers l'eau gommée, c'est-à-dire que c'est à l'extérieur que le niveau s'élève.

La hauteur d'ascension dans l'*endosmomètre* varie avec les différents liquides. De toutes les substances végétales, le sucre dissous est celle qui, à densité égale, présente le plus grand pouvoir d'endosmose; de toutes les substances animales, c'est l'albumine. La gélatine, au contraire, ne possède qu'une force d'endosmose très-faible. C'est, en général, vers le liquide le plus dense que se dirige le courant d'endosmose. Toutefois l'alcool et l'éther font exception, ces liquides se comportant, par rapport à l'eau, comme des liquides plus denses. Avec les

acides, suivant qu'ils sont plus ou moins étendus, il y a endosmose de l'eau vers l'acide ou de l'acide vers l'eau.

Dutrochet a constaté que, pour que les phénomènes d'endosmose se produisent, il faut : 1° que les liquides soient hétérogènes et susceptibles de se mélanger, comme l'eau et l'alcool, par exemple, tandis qu'avec l'eau et l'huile il n'y a rien; 2° que les deux liquides soient de densité différente; 3° que la cloison qui sépare les liquides soit perméable au moins à l'un d'eux.

Toutes les substances végétales et animales sont perméables; quant aux substances inorganiques, comme les ardoises, le grès, la porcelaine déglacée, la terre de pipe peu cuite, elles sont d'autant moins perméables qu'elles contiennent plus de silice. La terre de pipe, qui est plus alumineuse que la porcelaine, est plus perméable : c'est ce qui fait qu'elle happe à la langue.

A travers les lames minces inorganiques, le courant est faible, mais peut se continuer indéfiniment. Les membranes organiques, au contraire, se désorganisent promptement, et l'endosmose cesse.

On a proposé plusieurs théories de l'endosmose. Les uns l'ont attribuée à un courant électrique qui se dirigerait dans le même sens que l'endosmose. D'autres ont admis que la cause du phénomène était une action capillaire jointe à l'affinité des deux liquides. On a admis encore que l'endosmose était due à une inégale viscosité des liquides. Enfin, on a attribué ce phénomène à la plus ou moins grande perméabilité des membranes pour tel ou tel liquide. De toutes ces hypothèses, aucune n'explique l'endosmose d'une manière satisfaisante. Quoi qu'il en soit, le phénomène paraît se rattacher intimement aux mêmes causes que la capillarité; cependant on observe que l'élévation de température, qui active l'endosmose, affaiblit la capillarité.

121. **Endosmose des gaz.** — Les gaz présentent de véritables phénomènes d'endosmose. Si deux gaz de nature différente sont séparés par une membrane sèche, il y a simplement mélange, c'est-à-dire courants égaux des deux côtés; mais si la membrane est humide, il y a endosmose, c'est-à-dire courants inégaux. Pour faire l'expérience, on renferme une vessie pleine d'acide carbonique dans une seconde vessie plus grande et contenant de l'oxygène. Cette dernière se remplit d'acide carbonique, ce qui montre qu'il y a endosmose de l'acide carbonique vers l'oxygène. De même, si l'on souffle une bulle de savon et qu'on la place sous une cloche pleine d'acide carbonique, on la voit se gonfler.

122. **Absorption et imbibition.** — Les mots *absorption* et *imbibition*, en physique, sont à peu près synonymes : tous les deux indiquent également une pénétration d'une substance étrangère dans un corps poreux. Toutefois l'absorption se dit indistinctement en parlant des substances liquides ou gazeuses, tandis que l'imbibition s'entend spécialement des liquides.

En physiologie, on distingue l'absorption de l'imbibition. Dans le premier phé-

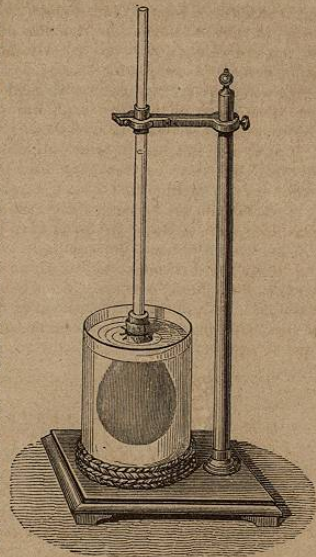


Fig. 76.

nomène, il y a pénétration d'une substance étrangère dans les tissus d'un être vivant, tandis que l'imbibition ne se dit que d'une pénétration dans les corps poreux privés de vie, soit organiques, soit inorganiques. En un mot, dans l'absorption, les forces vitales sont mises en jeu ; elles ne le sont pas dans l'imbibition.

123. **Absorption des gaz.** — La propriété d'absorber les gaz, dans le sens physique, appartient à tous les corps doués de pores sensibles (13), mais à des degrés très-variables. Cette propriété se rencontre surtout dans le charbon de chène. Eteint sous une cloche remplie d'un gaz donné, ce corps absorbe, à la pression ordinaire, 90 fois son volume de gaz ammoniac, 35 fois son volume de gaz acide carbonique, et 9 fois son volume d'oxygène. Mouillé, le charbon absorbe deux fois moins, ce qui prouve qu'il doit sa propriété absorbante à sa porosité, et, par conséquent, à une action capillaire. Le pouvoir absorbant du charbon de sapin est deux fois moindre que celui du charbon de chène. Le charbon de liège, qui est extrêmement poreux, n'absorbe pas ; il en est de même du charbon naturel très-compacte qu'on nomme graphite. On conclut de là que la porosité étant une condition essentielle de l'absorption des gaz, les pores, cependant, doivent être compris dans certaines limites.

124. **Phénomènes d'absorption dans les plantes.** — Dans le règne végétal, l'absorption se fait par toutes les parties des plantes, mais surtout par les spongioles ou chevelus qui terminent les racines, et par les feuilles. C'est par ces organes que sont absorbés, à l'état d'eau, d'acide carbonique et d'ammoniaque, l'oxygène, l'hydrogène, le carbone et l'azote nécessaires à la nutrition des végétaux.

Les liquides et les sels qu'ils tiennent en dissolution sont d'abord absorbés par les radicelles, par un double phénomène d'endosmose et de capillarité ; puis, la sève, élaborée par le végétal, augmentant de densité vers les parties supérieures, c'est encore un phénomène d'endosmose qui lui donne une direction ascendante. Enfin, l'ascension de la sève est, en outre, favorisée par le vide qui tend à se produire dans les parties élevées de la plante par l'effet de l'exhalation par les feuilles. Quant à l'action capillaire, elle ne peut élever les liquides que dans les cellules inférieures, et ne peut produire de courant.

Le docteur Boucherie, de Bordeaux, a fait une heureuse application de la propriété absorbante des végétaux à l'introduction, dans le tissu des bois, de sels dont les uns leur donnent des couleurs plus ou moins vives, et dont les autres augmentent leur souplesse et leur ténacité, ou les rendent moins combustibles.

125. **Phénomènes d'absorption chez les animaux.** — Chez les animaux inférieurs, dont les tissus ne sont formés que de cellules, tout se passe, comme dans les végétaux, par imbibition et par endosmose. L'imbibition par laquelle quelques-uns de ces animaux se nourrissent est une véritable endosmose.

Chez les animaux supérieurs il y a absorption. Par exemple, la garance, prise intérieurement par ces animaux, pénètre leurs os et les colore en rouge. De même, si un liquide est en contact avec une surface cutanée, dénuée de son épiderme, ou avec une membrane muqueuse, ces surfaces étant très-vasculaires, le liquide passe dans les vaisseaux par un effet d'endosmose, ce qui constitue l'absorption.

Plus une substance est liquide, plus elle est facilement absorbée. Toutefois, pour qu'il y ait absorption des liquides, il est nécessaire qu'ils mouillent les membranes. En effet, les graisses, qui ne les mouillent pas, ne sont pas absorbées ; mais M. Cl. Bernard a reconnu qu'elles le sont facilement, étant émulsionnées par le suc pancréatique. Réemment, le docteur Loze a observé qu'en émulsionnant de la même manière l'huile de foie de morue, ce médicament, très en vogue depuis quelques années, acquiert plus d'énergie, ce qui provient de ce qu'il est plus complètement absorbé.

L'absorption est favorisée, ainsi que l'endosmose, par la chaleur ; elle l'est encore par la déplétion. Après une transpiration abondante ou une saignée, elle augmente.

LIVRE IV

DES GAZ.

CHAPITRE PREMIER.

PROPRIÉTÉS DES GAZ, ATMOSPÈRE, BAROMÈTRES.

126. **Caractères physiques des gaz.** — Les gaz, ou fluides aéri-formes, sont des corps dont les molécules possèdent une mobilité parfaite, et sont dans un état constant de répulsion qu'on désigne sous les noms d'*expansibilité*, de *tension* ou de *force élastique*, d'où les gaz eux-mêmes prennent souvent le nom de *fluides élastiques*.

On divise les fluides élastiques en deux classes : les gaz permanents, ou gaz proprement dits, et les gaz non permanents, ou vapeurs. Les premiers persistent à l'état aériforme, à quelque pression et à quelque abaissement de température qu'on les soumette ; ce sont l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le bioxyde d'azote, l'oxyde de carbone et le gaz des marais. Les gaz non permanents, au contraire, passent plus ou moins facilement à l'état liquide, soit par un excès de pression, soit par le refroidissement. Toutefois cette distinction n'est pas rigoureuse ; car un grand nombre de gaz qu'on regardait comme permanents ont été liquéfiés par M. Faraday ou par d'autres physiciens, et l'on doit admettre que ceux qui jusqu'ici n'ont pu être liquéfiés, le seraient si on les soumettait à une pression et à un froid suffisants. C'est pourquoi on donne, en général, le nom de gaz à des corps qui, dans les conditions habituelles de température et de pression, ne se présentent qu'à l'état aériforme ; tandis qu'on entend par vapeur l'état aériforme que prennent, sous l'influence du calorique, des corps qui, comme l'eau, l'alcool, l'éther, sont liquides aux pressions et aux températures ordinaires.

Les gaz connus aujourd'hui en chimie sont au nombre de trente-