

dans ce liquide. Mais nous ne pouvons étudier la question que lorsque nous aurons parlé du mélange des gaz.

Les dissolutions gazeuses sont fréquemment employées dans les laboratoires, parce qu'il est plus commode de se servir d'un liquide que d'un gaz. Les eaux gazeuses, naturelles ou artificielles, permettent l'ingestion dans l'estomac de gaz tels que l'acide carbonique qu'il serait malaisé d'y introduire directement.

158. **Vaporisation.** — Lorsqu'on répète avec un liquide volatil les expériences que nous avons indiquées précédemment (68) en employant, non un tube faisant baromètre, mais un tube dans lequel un gaz existe dans l'espace au-dessus du mercure, on reconnaît que, comme dans cette expérience, le liquide passe à l'état de vapeur; seulement l'action est moins rapide. Ce changement d'état constitue la *vaporisation*. En même temps la pression croît.

On reconnaît également que l'espace se sature si on introduit une quantité suffisante de liquide; cette quantité dépend de la grandeur de l'espace.

Si l'on opère à l'air libre, on reconnaît, par la diminution du liquide, que celui-ci passe progressivement à l'état de vapeur; si l'expérience se prolonge assez longtemps, tout le liquide disparaît, parce que l'espace ne peut alors se saturer.

Les questions relatives à la vaporisation exigent la connaissance de la tension d'une vapeur dans un mélange gazeux, ce que nous étudierons plus loin; d'autre part elles sont liées intimement aux phénomènes calorifiques. Aussi ne les examinerons-nous en détail que dans le chapitre consacré à la chaleur.

ART. VI. — ACTIONS RÉCIPROQUES DES GAZ

159. **Mélange des gaz.** — Nous admettrons dans toute l'étude du mélange des gaz que les corps mis en présence sont absolument sans action chimique les uns sur les autres.

Le fait capital de cette étude c'est que, lorsqu'on réunit dans un même vase deux gaz quelconques, il y a toujours, rapidement même, un mélange parfait: au bout de peu de temps, la composition de la masse gazeuse est la même dans tous les points du vase.

Rapprochant cette étude de celle que nous avons faite pour le mélange des liquides, on peut résumer ces conditions en disant que deux gaz sont toujours *miscibles* et que la *diffusion* se fait très rapidement.

Ces résultats sont en concordance avec la propriété caractéristique des gaz, l'expansibilité, qui se manifeste ainsi pour un gaz dans un espace déjà occupé par un gaz, comme elle se manifesterait dans le vide.

Il importe de remarquer, dès lors, que, dans un mélange gazeux,

chaque gaz doit être considéré comme ayant un volume égal à celui de l'espace dans lequel est placé le mélange; tous les gaz constituant le mélange ont ainsi le même volume.

La diffusibilité rapide et absolue des gaz a été mise nettement en évidence par une expérience classique due à Berthollet: deux ballons munis de garnitures à robinet furent remplis, l'un d'acide carbonique, l'autre d'hydrogène; on les réunit l'un au-dessus de l'autre de manière que ce dernier gaz, le moins dense, occupait le ballon supérieur: ils furent abandonnés pendant vingt-quatre heures dans les caves de l'Observatoire dont la température est constante; on peut admettre que, après ce temps, ils étaient l'un et l'autre à la même température, et qu'il ne put se produire aucune action mécanique, aucun mouvement dû à l'action de la chaleur. On ouvrit alors les robinets qui furent fermés après quelque temps; l'analyse chimique montra que chaque ballon contenait les deux gaz en parties égales, c'est-à-dire que, malgré son faible poids spécifique, l'hydrogène avait pénétré dans le ballon inférieur, et que, au contraire, l'acide carbonique, malgré son grand poids spécifique, s'était élevé. Il y avait eu diffusion complète, malgré l'action de la pesanteur qui s'y opposait.

160. — L'existence de la diffusion indique que si un vase contenant un gaz est abandonné ouvert dans une atmosphère gazeuse indéfinie, le gaz, après un certain temps, aura complètement disparu du vase, et cela quelle que soit la direction donnée à l'orifice du vase: la dissémination de ce gaz dans un espace *indéfini* en rend la proportion nulle en chaque point. Cette conclusion est conforme à de nombreux faits expérimentaux. Elle pourrait sembler cependant en désaccord avec quelques observations: on sait, par exemple, que pour recueillir le chlore on fait arriver l'extrémité du tube adducteur au fond d'un vase ouvert qui se remplit; on sait aussi que dans la Grotte du chien, à Naples, l'acide carbonique forme au-dessus du sol une couche d'une épaisseur limitée dans laquelle sont asphyxiés les animaux qui y respirent, tandis que les hommes dont la tête est au-dessus de cette couche respirent sans difficulté; on sait aussi que, dans les cuves de fermentation pour la fabrication du vin, le liquide est surmonté d'une couche irrespirable, alors que, à quelque distance, aucun accident n'est à craindre.

Ces faits ne sont pas en contradiction avec l'existence du phénomène de la diffusion gazeuse; dans chacun d'eux, la diffusion se produit par la partie supérieure de la couche gazeuse et si celle-ci ne disparaît pas, c'est que, dans tous les cas, il se produit un dégagement de gaz par la partie inférieure; l'épaisseur de la couche est invariable si la perte par diffusion est précisément égale à l'arrivée par le tube, par le sol ou par la matière en fermentation; elle décroît ou croît suivant que la première est plus grande ou plus petite que la seconde. Si le dégagement cesse à la

partie inférieure, la diffusion continue et le gaz disparaît rapidement, mais non immédiatement, car la diffusion ne se produit pas instantanément.

On ne sait rien d'ailleurs sur la manière dont la diffusion gazeuse varie avec le temps, ni sur la valeur du temps nécessaire pour qu'elle soit complète. Nous aurons donc seulement à nous occuper des effets résultant du mélange complet. Disons que, bien entendu, les faits dont nous nous occupons sont applicables aux vapeurs aussi bien qu'aux gaz proprement dits : nous signalerons spécialement les cas dans lesquels l'existence d'une vapeur produit des effets particuliers.

161. — La propriété de la rapide diffusion des gaz a été utilisée par Gréhant, pour mesurer la capacité pulmonaire. On fait respirer un individu dans un ballon de volume connu v contenant une quantité donnée d'un gaz inerte par rapport à la respiration, inoffensif mais irrespirable, c'est-à-dire non absorbable dans les poumons, de l'hydrogène par exemple. Après quelques inspirations, ce gaz a pénétré dans les poumons et est également répandu dans toute la masse gazeuse dont le volume est $v + x$, si x est la capacité cherchée du poumon. On détermine alors la quantité d'hydrogène qui reste dans la cloche : soient p le poids primitif du gaz qui est répandu dans le volume $v + x$, et p' le poids restant dans le ballon dont le volume est v . Le mélange étant complet, homogène, il y a évidemment proportionnalité et il vient :

$$\frac{p}{p'} = \frac{x + v}{v},$$

d'où l'on tire immédiatement la valeur de x .

162. **Pression d'un mélange; pression individuelle d'un gaz dans un mélange.** — Les effets que produisent les mélanges gazeux peuvent être d'ordre mécanique ou d'ordre physique; dans le premier cas, le mélange agit par sa masse tout entière, dans le second cas chacun des gaz agit isolément, pour ainsi dire. Nous examinerons successivement les questions qui se rapportent à ces deux ordres de phénomènes.

Les effets mécaniques quels qu'ils soient, actions statiques, production de courants gazeux, etc., dépendent de la pression de l'ensemble du mélange, pression qui peut être mesurée par un manomètre. Cette pression est liée aux conditions de chacun des gaz qui constituent le mélange par une relation que nous allons indiquer.

Soit un gaz dont le volume est v et la pression h ; si on l'introduit dans un espace vide dont le volume est V , il prendra une pression x déterminée par la loi de Mariotte. On doit avoir, en effet, d'après cette loi, $vh = Vx$, d'où l'on déduit $x = \frac{vh}{V}$.

Si l'espace dans lequel on introduit le gaz considéré contient déjà un ou plusieurs autres gaz, nous avons dit qu'il occupera tout l'espace, que

son volume sera V comme s'il était seul. On appelle *pression individuelle* du gaz dans ce mélange, la pression x calculée comme nous venons de l'indiquer. Cette pression ne peut d'ailleurs être indiquée par un manomètre qui fait connaître seulement la pression totale H du mélange.

Il existe une relation simple entre cette pression totale H et les pressions individuelles des divers gaz qui composent le mélange; cette relation est déterminée par la loi suivante :

La pression d'un mélange de gaz est la somme des pressions individuelles des pressions des divers gaz qui constituent le mélange.

On vérifie cette loi en mesurant, d'une part les volumes $v, v', v'' \dots$ et les pressions h, h', h'', \dots des gaz avant le mélange; on en déduit, par le calcul, les pressions individuelles x, x', x'', \dots connaissant le volume V du mélange. On mesure d'autre part, à l'aide d'un manomètre, la pression totale H du mélange; on reconnaît alors qu'on a toujours :

$$H = x + x' + x'' \dots$$

En remplaçant les x par leur valeur, il vient :

$$H = \frac{vh}{V} + \frac{v'h'}{V} + \frac{v''h''}{V} + \dots$$

équation importante que l'on peut écrire sous la forme suivante :

$$VH = vh + v'h' + v''h'' + \dots$$

163. **Mélange des gaz et des vapeurs.** — Lorsque le mélange contient une ou plusieurs vapeurs, la loi subsiste : chaque vapeur a, comme un gaz, une pression individuelle; seulement dans aucun cas cette pression ne peut devenir supérieure à la tension maxima pour la température de l'expérience.

Le fait qu'une vapeur se comporte comme un gaz, dans ces conditions, a été vérifié par Gay-Lussac. Mais rien ne permet d'assurer, *a priori*, que, mélangée à un gaz, une vapeur possède la même tension maxima que lorsqu'elle est seule. Des expériences dues notamment à Gay-Lussac et à Regnault ont prouvé qu'il en est réellement ainsi.

On conçoit que la question des vapeurs présente un réel intérêt, parce que l'atmosphère dans laquelle nous vivons est, en réalité, un mélange de gaz, oxygène, azote, acide carbonique, et de vapeur d'eau. La pression atmosphérique est donc la somme des pressions individuelles de l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau; si l'air est saturé de vapeur, la pression atmosphérique est la somme des pressions individuelles de l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique et de la tension maxima de la vapeur d'eau.

Si l'état hygrométrique de l'air est ε , nous savons (72), d'après la défi-

dition même de cette quantité $\varepsilon = \frac{f}{F_t}$ que l'on a $f = \varepsilon F_t$. La pression atmosphérique est alors formée de la somme des pressions des gaz, comme précédemment, et de cette tension f .

164. **Actions individuelles des gaz dans un mélange.** — Dans un mélange, les actions physiques et les actions chimiques, les plus intéressantes au point de vue des questions qui nous occupent, dépendent, non pas de la pression du mélange, mais des pressions individuelles de chaque gaz.

Sans vouloir insister, nous dirons que c'est de ces pressions individuelles que dépendent les phénomènes de dissociation, que dépend aussi, par exemple, la phosphorescence du phosphore, cette phosphorescence et l'action chimique qu'elle accompagne ne se manifestant que si la pression individuelle de l'oxygène est au plus égale à $\frac{1}{5}$ d'atmosphère.

Nous nous arrêterons plus longuement sur les actions physiques, et d'abord nous parlerons de l'occlusion.

Il semblerait, d'après M. Joulin, que dans l'occlusion d'un mélange de gaz, chacun de ceux-ci serait occlus comme s'il était seul, soumis à sa pression individuelle. Il reconnut, par exemple, que 12^{gr},70 de charbon de bois au contact de l'air à la pression de 76 centimètres avaient absorbé 120 centimètres cubes de gaz comprenant 32 centimètres cubes d'oxygène et 88 d'azote; en se reportant aux coefficients d'occlusion que nous avons donnés, on trouve que, d'après la loi de proportionnalité, ces nombres auraient dû être 28 d'oxygène et 92 d'azote; la vérification est suffisante pour des actions de ce genre pour lesquelles les valeurs des coefficients sont mal déterminées.

En tout cas, et comme il arrive pour toutes les actions moléculaires, la loi ne s'applique pas pour les gaz entre lesquels il existe des différences considérables dans la valeur de l'occlusion: le gaz le moins facilement absorbable est chassé par celui qui l'est davantage: inversement si un solide a occlus un gaz très absorbable, il sera incapable d'occlure un gaz moins absorbable. Ces remarques expliquent pourquoi, lorsqu'on veut étudier ces phénomènes, il convient de chauffer au rouge le charbon dont on fait usage: par suite de l'élévation de température les gaz occlus se dégagent. On fait alors passer, avant refroidissement, le charbon dans une éprouvette contenant le gaz en expérience et renversée sur la cuve à mercure.

165. — Les phénomènes de passage à travers les corps poreux, comme la transpiration, donnent lieu à des effets du même genre; dans un mélange chaque gaz passe avec sa vitesse propre. C'est là le phénomène appelé *atmolyse* par Graham, phénomène qui a été appliqué dans l'étude de certains faits relatifs à la dissociation. Voici quelques résultats d'expérience qu'il a réalisés pour mettre ce fait en évidence:

Un tuyau de terre de pipe est traversé par un mélange d'oxygène et d'hydrogène que l'on peut recueillir dans une éprouvette; il est placé dans un tube de verre fermé par des bouchons, et l'espace compris entre les deux tubes est mis en communication avec une machine pneumatique qui y maintient une faible pression. Dans ces conditions, une partie du mélange passe à travers le tuyau en terre de pipe, mais l'hydrogène passe plus rapidement; on le vérifie en analysant le gaz recueilli dans l'éprouvette. Dans une expérience, le mélange gazeux, qui passait avec une vitesse de 9 litres à l'heure, était formé à l'entrée de 67 parties d'hydrogène et 33 parties d'oxygène; à la sortie le mélange recueilli comprenait 9 parties d'hydrogène et 91 d'oxygène: autrement dit, pour 100 parties d'oxygène, il y en avait 200 d'hydrogène à l'entrée et seulement 9,9 à la sortie. Il avait donc passé beaucoup plus d'hydrogène que d'oxygène à travers la paroi.

Dans une autre expérience, il employa un sac de soie enduite de caoutchouc, à l'intérieur duquel un feutre était accolé. Il produisit une raréfaction continue de l'air intérieur à l'aide d'une trompe de Sprengel et recueillit les gaz qui, ayant traversé la paroi, se dégageaient régulièrement. Ces gaz, soumis à l'analyse, furent reconnus contenir 41, 42 et même 47 p. 100 d'oxygène, proportion plus de deux fois supérieure à celle qui existe normalement dans l'air.

166. **Dissolution des mélanges gazeux.** — Dans le cas de la dissolution par les liquides, la même loi générale est encore applicable; un liquide en contact avec un mélange de gaz dissout chacun d'eux comme s'il était seul, la pression qui détermine la dissolution étant la pression individuelle du gaz dans le mélange.

Comme nous le disions précédemment, d'ailleurs, cette loi n'est pas applicable dans les cas où il y a une très grande différence de solubilité; le gaz le plus soluble reste seul alors en dissolution.

On se rend compte par l'application de cette loi que, par exemple, la composition de l'air dissous dans l'eau ne doit pas être la même que celle de l'air atmosphérique.

Dans celui-ci, laissant de côté l'acide carbonique, nous savons que l'oxygène représente, en chiffres ronds, $\frac{1}{5}$ de l'air, l'azote formant $\frac{4}{5}$ en volume. On peut dire, autrement, que dans un volume d'air il y a 1 volume d'oxygène à la pression de $\frac{1}{5}$ d'atmosphère et 4 volumes d'azote à la pression individuelle de $\frac{4}{5}$ d'atmosphère; d'autre part le coefficient de solubilité de l'oxygène est 0,04, celui de l'azote 0,02. Donc 1 volume d'eau dissoudra 0,04 volume d'oxygène à la pression $\frac{1}{5}$ et 0,02 volume d'azote à la pression $\frac{4}{5}$; si nous ramenons ces masses à la même pres-

sion 1, l'oxygène occupera un volume 5 fois plus petit, soit $0,04 : 5 = 0,008$ et l'azote un volume $0,02 : \frac{5}{4} = 0,016$; donc pour un volume $8 + 16 = 24$ d'air en dissolution, il y aura 8 d'oxygène, c'est-à-dire $\frac{1}{3}$ du volume total; ce mélange est donc plus riche que l'air atmosphérique qui contient seulement $\frac{1}{5}$ d'oxygène. Ces résultats sont bien conformes à ceux que fournit l'expérience directe.

La solubilité relativement très grande de l'acide carbonique explique de même que, comme le montre l'évaluation directe, la proportion de ce gaz est beaucoup plus considérable dans l'air dissous que dans l'air atmosphérique.

167. Extraction des gaz du sang. — Au point de vue des effets physiologiques, les mélanges de gaz agissent, comme dans les cas précédents, c'est-à-dire que chacun des gaz composants agit en vertu de sa pression individuelle.

Les gaz de l'air se dissolvent dans le sang; quoiqu'ils ne soient pas directement en contact avec ce liquide dont ils sont séparés par une membrane, le résultat est le même. On ne peut cependant appliquer directement à ce cas sans les vérifier les résultats auxquels nous a conduit l'étude de la dissolution de l'air dans l'eau, parce que, d'une part, le sang contient également en dissolution diverses substances solides et qu'il y a de plus des éléments figurés, les globules, qui exercent une action chimique sur certains gaz.

On comprend donc qu'il est nécessaire, pour étudier la fonction de la respiration, de déterminer directement la nature et la quantité des gaz contenus dans le sang.

Tous les procédés que nous avons indiqués précédemment, ne sont pas applicables dans ce cas; c'est ainsi qu'on ne peut avoir recours à l'élévation de température, cette action ayant pour effet d'amener la coagulation du sang et par suite de rendre impossible toute mesure précise.

On peut avantageusement employer, au contraire, l'action du vide: l'expérience se fait aisément à l'aide de la machine pneumatique à mercure; le sang remplit le réservoir latéral dont on connaît le volume et que l'on chauffe légèrement pour faciliter l'action. Par le jeu de l'appareil, le vide se produit, les gaz se dégagent et sont recueillis dans une éprouvette placée dans la cuve à mercure qui surmonte le tube vertical. On peut alors mesurer et analyser ces gaz dont la composition varie suivant les conditions dans lesquelles le sang a été recueilli, suivant, par exemple, qu'il s'agit du sang artériel ou du sang veineux.

Un autre procédé consiste à faire passer dans le sang un courant longtemps prolongé d'un gaz inerte tel que l'hydrogène. Dans ces conditions, comme nous l'avons dit, les lois de la dissolution ne sont plus

applicables et peu à peu les gaz dissous sont entraînés par l'hydrogène. On recueille le mélange à la sortie, et par une analyse chimique, on détermine la nature et la quantité de chacun des gaz qui existaient dans le liquide sanguin.

168. Phénomènes physiques de la respiration. — Les phénomènes physiques de la respiration ne sont pas absolument comparables à une dissolution; c'est ainsi que les quantités d'oxygène et d'acide carbonique qui peuvent être dissous ne sont pas absolument proportionnelles à la pression individuelle de chacun de ces gaz. On peut cependant admettre cette loi, au moins comme première approximation, car s'il n'y a pas proportionnalité, les quantités de gaz dissous et les pressions varient dans le même sens, croissant ensemble et décroissant en même temps.

On sait que l'azote ne joue aucun rôle direct dans la respiration; nous n'aurons donc à nous occuper que de l'oxygène et de l'acide carbonique. Ces gaz, dans les conditions ordinaires de la vie à la pression normale de 76 centimètres de mercure, ont des pressions individuelles qu'on peut calculer, connaissant la composition centésimale de l'atmosphère. L'air contenant 20 d'oxygène et 0,04 d'acide carbonique, la pression individuelle du premier est égale à $76 \times \frac{20}{100} = 15^{\text{cm}},2$ et celle du second à $76 \times \frac{0,04}{100} = 0^{\text{cm}},0304$, soit en nombres ronds 15^{cm} et $0^{\text{cm}},03$.

Des observations nombreuses ont fait connaître un malaise particulier, le *mal des montagnes*, éprouvé par les personnes qui s'élèvent à de hautes altitudes. Ce n'est pas ici le lieu d'en donner la description, ni d'indiquer les discussions auxquelles il a donné lieu; disons seulement qu'il a été observé également dans le cas d'ascensions en ballon, ce qui exclut l'idée qu'il puisse être en rapport exclusif avec le travail mécanique exécuté par les voyageurs en pays de montagne.

La question a été étudiée avec beaucoup de soin par Paul Bert qui a montré que les effets observés peuvent s'expliquer par l'*anoxyhémie*, c'est-à-dire par la présence dans le sang d'une quantité insuffisante d'oxygène. La diminution de la quantité d'oxygène dans le sang dépend de la moindre valeur de la pression individuelle de l'oxygène, cette pression décroissant avec la pression atmosphérique totale et dans le même rapport, car la composition proportionnelle de l'air ne varie pas.

En opérant sur des oiseaux placés sous des cloches dans des conditions diverses, mais faisant varier la pression individuelle de l'oxygène (soit en laissant respirer l'animal dans un espace confiné d'où l'oxygène disparaît par la respiration même; — soit en faisant vivre cet oiseau dans des atmosphères artificielles dans lesquelles la quantité d'oxygène était de plus en plus petite; — soit même en le maintenant dans une cloche dont on raréfie l'air en totalité), Paul Bert a vu survenir des désordres analogues et dans les divers cas, en poussant l'expérience assez loin, il a

pu produire la mort de ces oiseaux. L'étude détaillée de ces expériences a démontré que dans tous les cas la mort avait eu lieu lorsque la pression individuelle de l'oxygène avait été abaissée jusqu'à 3^{cm},5.

On arrive à des résultats à peu près semblables en analysant des expériences faites sur d'autres animaux par Paul Bert et par d'autres expérimentateurs. On peut résumer le tout en disant que, au point de vue de la respiration, la valeur totale, mécanique, de la pression atmosphérique est sans action; que, seule, la *pression individuelle* de l'oxygène intervient, que des désordres se manifestent quand elle est trop abaissée, et qu'il y a danger de mort quand cette pression atteint une valeur comprise entre 5 et 3^{cm},5 de mercure.

Il résulte de là que la vie aux grandes altitudes, comme il en existe au Mexique et dans l'Amérique du Sud, n'est pas dans les conditions qu'on considère comme normales au niveau de la mer, par suite de la moindre valeur de la pression barométrique (58 centimètres à Mexico) et par suite de la pression individuelle de l'oxygène. Un homme ou un animal habitué à vivre au niveau de la mer et qui serait transporté à ces altitudes devrait éprouver une gêne; on ne constate cependant rien de semblable chez les habitants du pays, chez les animaux qu'on y trouve et qui ne présentent pas de trace d'anoxhémie. On peut expliquer ce fait, en remarquant que, comme nous l'avons dit, l'absorption de l'oxygène par le sang n'est pas une simple dissolution de l'oxygène dans un liquide, obéissant seulement aux lois des dissolutions gazeuses, mais qu'il y a une action spéciale des globules. Si donc il arrivait que, à ces grandes altitudes, les globules pussent absorber et retenir plus d'oxygène qu'au niveau de la mer, l'anoxhémie serait conjurée. Or c'est là ce qui semble résulter de recherches, faites par Paul Bert notamment, qui ont montré que la propriété que possède le sang d'absorber l'oxygène est plus grande chez les animaux habitant les hauts plateaux de l'Amérique que chez ceux de nos contrées.

169. — Il résulte des considérations qui précèdent que, si les inconvénients et même les dangers des altitudes très élevées sont la conséquence presque exclusivement, sinon totalement, de la faible valeur de la pression individuelle de l'oxygène, on ferait disparaître ces inconvénients et ces dangers en respirant un mélange gazeux à la même pression, mais plus riche en oxygène; en respirant même de l'oxygène pur, on pourrait théoriquement abaisser la pression jusqu'à 5 centimètres, valeur limite dont toutefois il conviendrait de ne pas trop approcher dans la pratique. C'est ce que Paul Bert signala et, comme conséquence, il recommanda pour les ascensions en ballon à grande hauteur, l'emploi de réservoirs en caoutchouc contenant de l'oxygène pur ou du moins un air suroxygéné. Le mélange a, à chaque instant, la même pression que l'air extérieur à cause de la flexibilité de l'enveloppe, mais la pression indivi-

duelle de l'oxygène est supérieure à celle de ce gaz dans l'air extérieur et d'autant plus grande que le mélange est plus riche en oxygène.

En se soumettant à l'action de l'air raréfié dans des cloches étanches, Paul Bert vérifia directement d'abord l'existence des symptômes du mal des montagnes lorsque la pression eut été amenée à 42^{cm}, ce qui correspond à une pression individuelle de l'oxygène de 8^{cm},4; ces symptômes n'existaient pas lorsque ce savant respirait dans un ballon rempli d'air suroxygéné: l'expérience vérifiait les conclusions de la théorie.

On sait que, se proposant d'appliquer ces résultats, trois aéronautes, MM. Crocé-Spinelli, Sivel et Gaston Tissandier, exécutèrent une ascension à très grande hauteur en emportant des ballonnets de caoutchouc remplis d'oxygène, qu'ils devaient respirer lorsqu'ils seraient parvenus à une hauteur dangereuse. L'aérostat s'éleva jusqu'à plus de 8000 mètres; lorsqu'il descendit deux des aéronautes étaient morts, Crocé-Spinelli et Sivel; saisis par la rapide dépression de leurs forces, ils ne purent faire usage des ballons d'oxygène dont ils n'avaient pas commencé à se servir assez tôt d'une manière continue; la pression barométrique descendue jusqu'à 26^{cm},5, correspondant à une pression individuelle de l'oxygène de 5^{cm},3, voisine de la pression limite que nous avons indiquée. M. G. Tissandier survécut (1875).

On ne peut pas affirmer que l'emploi continu de l'air suroxygéné eût empêché ce terrible accident; cependant quand on remarque la coïncidence entre la valeur de la pression qui a amené la mort des deux aéronautes et celle qui avait été déterminée comme dangereuse par des expériences diverses, on est conduit à penser que les autres conséquences de ces expériences doivent être justes également. C'est d'ailleurs ce que nous allons trouver en étudiant un autre ordre des faits.

170. **De l'emploi des anesthésiques gazeux.** — Nous citerons comme second exemple de l'importance de l'influence de la pression individuelle du gaz dans les mélanges, l'étude du protoxyde d'azote comme anesthésique.

Le protoxyde d'azote ne peut entretenir les combustions lentes; aussi ne peut-on respirer ce gaz pur, mais seulement mélangé à de l'air ou à de l'oxygène. Des expériences directes dues à Paul Bert ont montré que pour que ce gaz produise l'anesthésie, il faut que sa pression (pression totale s'il est seul, pression individuelle s'il fait partie d'un mélange) atteigne 76 centimètres.

On ne saurait donc à la pression normale produire l'anesthésie sans amener l'asphyxie, puisque l'anesthésie exige que le protoxyde soit respiré pur à cette pression. On produirait l'anesthésie tout en maintenant la respiration à l'état absolument normal, en faisant respirer un mélange d'air et de protoxyde d'azote à la pression de deux atmosphères; l'air serait à la pression normale et entretiendrait la respiration comme s'il

était seul, le protoxyde d'azote aurait également la pression de 76 centimètres qui est justement convenable pour amener l'anesthésie.

Ces résultats indiqués par Paul Bert ont été vérifiés expérimentalement, pratiquement même : dans des opérations chirurgicales exécutées notamment par MM. Péan et Labbé, le malade, l'opérateur et les aides étaient placés dans une chambre où l'air était comprimé à deux atmosphères ; le malade respirait, à cette pression, un mélange, par parties égales, d'air et de protoxyde d'azote. L'anesthésie fut obtenue facilement et sans menace d'asphyxie. Mais l'appareil était encombrant, les manœuvres préparatoires longues, la méthode fut abandonnée pratiquement. Le fait n'en reste pas moins probant.

On pourrait atteindre le même résultat avec une moindre pression en utilisant pour la respiration un mélange de protoxyde d'azote et d'oxygène pur : il suffirait, en effet, que la pression du mélange fût égale à 91 centimètres, somme de la pression de 76 centimètres nécessaire, pour le protoxyde d'azote, pour amener l'anesthésie, et de 15 centimètres, pression normale de l'oxygène dans l'air.

Les autres anesthésiques paraissent se comporter comme le protoxyde d'azote : leur action ne dépend pas de la quantité employée, mais seulement de leur pression individuelle. Celle-ci doit dans chaque cas être comprise entre deux limites, l'une inférieure au-dessous de laquelle l'anesthésie ne se produit pas, l'autre supérieure au-dessus de laquelle la mort peut survenir. Si ces limites étaient absolument connues, l'emploi des mélanges gazeux titrés éviterait tout inconvénient, tout danger, en admettant qu'il n'y ait pas à craindre d'accidents d'un autre ordre.

Nous nous sommes occupé plus spécialement de l'oxygène, dans l'étude précédente ; mais des considérations du même genre doivent être signalées pour l'acide carbonique, les conditions étant inverses dans ces cas : il faut, en effet, pour la régularité de la respiration, que l'acide carbonique qui s'est formé dans l'intimité des tissus puisse se dégager du sang lorsque ce liquide traverse les poumons. Or le dégagement de ce gaz est lié à la pression individuelle de l'acide carbonique dans l'air ; cette pression est très faible dans l'air normal, mais elle s'accroît dans l'air confiné où respirent des êtres vivants, où brûlent des combustibles. D'après les expériences de Paul Bert, le dégagement d'acide carbonique du sang devient insuffisant quand la pression individuelle de ce gaz dans l'air atteint en moyenne 25 centimètres : l'animal meurt asphyxié, à proprement parler. Mais bien avant que cette proportion soit atteinte, la respiration ne se fait plus dans les conditions normales, et on éprouve une gêne sensible. La question présente, au point de vue de l'hygiène, une importance capitale, parce que, comme nous venons de le dire, sans parler des autres composés nuisibles qui peuvent prendre naissance, il

se produit des quantités notables d'acide carbonique dans toute salle où se trouvent réunies un grand nombre de personnes.

Nous tenons à dire que nous avons voulu indiquer ici seulement l'application indispensable des lois de la physique à une importante question physiologique ; mais nous n'avons pas traité celle-ci complètement, nous n'avons pas à le faire d'ailleurs. Il conviendrait, en effet, de tenir compte, d'une part du rôle fâcheux de l'oxygène lorsque ce gaz agit à trop forte pression, d'autre part des modifications qui se manifestent dans l'activité respiratoire des animaux soumis à l'expérience lorsque les conditions de celle-ci s'éloignent notablement des conditions normales. Nous n'avons pas fait l'étude de la respiration, mais seulement une introduction à cette étude.

§ II. — ACTIONS MOLÉCULAIRES MÉDIATES

171. **Osmose.** — Les actions moléculaires entre corps fluides, gaz ou liquides, se produisent même lorsque ces corps ne sont pas immédiatement en contact, mais sont séparés par certains corps poreux, par certaines membranes. En réalité, les actions ne se produisent que lorsque les corps ayant traversé la membrane sont arrivés au contact. Les phénomènes dont nous avons à parler, à ce point de vue, ont été pour la plupart étudiés isolément : on les réunit maintenant et on désigne sous le nom d'*osmose*, l'action générale qui se manifeste. Cette action ne semble pas différente, au fond, de celle qui se produit lors du contact immédiat : la présence de la membrane, cependant, retarde souvent plus ou moins la manifestation des effets et, d'autre part, changeant les conditions dans lesquelles ces effets se produisent, modifient les résultats observés.

L'osmose a été étudiée, surtout, entre deux liquides, entre une solution d'un solide ou d'un mélange de solides et le liquide dissolvant, entre deux gaz ou deux mélanges gazeux et, par suite, c'est sur ces points que nous aurons plus spécialement à insister ; cependant, il est d'autres conditions également intéressantes, quoiqu'elles soient moins complètement connues, sur lesquelles nous donnerons également quelques indications.

172. **Osmose des liquides.** — Lorsque deux liquides différents, dans des conditions convenables que nous indiquerons, sont séparés par une membrane, par une lamelle poreuse, il se produit à travers la membrane un double courant qui amène, de part et d'autre, un mélange des liquides.

Sans vouloir faire l'historique complet de la question, nous dirons que des faits de ce genre avaient été signalés par l'abbé Nollet et par Fischer ; mais que c'est seulement Dutrochet (1826) qui en commença une étude suivie : il y fut conduit par l'observation de quelques phénomènes de gonflement qu'il distingua sur des moisissures couvrant une plaie faite à la queue d'un poisson et sur les sacs spermatiques de limaçons mis en contact avec l'eau.